



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

PIETARI HEINO

360-VIDEOIDEN KATSELUSTATISTIIKAN VISUALISOINTI

Diplomityö

Tarkastaja: Professori Petri Ihantola

Jätetty tarkastettavaksi 23. tammi-
kuuta 2018

TIIVISTELMÄ

PIETARI HEINO: 360-videoiden katselustatistiikan visualisointi

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 39 sivua

Tammikuu 2018

Tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Ohjelmistotuotanto

Tarkastaja: Professori Petri Ihantola

Avainsanat: 360-videot, virtuaalitodellisuus, visualisointi, lämpökartta

360-videot ovat yleistymässä virtuaalitodellisuuden erilaisten sovellusten kanssa kovaa vauhtia. 360-videot ovat uusi, moderni mediamuoto, jossa video on kuvattu tietystä pisteestä jokaiseen suuntaan kuin pallon keskipisteestä ulkoreunoja kohden. Kuvaus tehdään uusilla kameralaitteistoilla, joissa useat kamerat suuntautuvat kaikkialle yhtenä isona kokonaisuutena. Tällaisia uudenlaisia videoita käytetään kaikenlaisiin tarkoituksiin, kuten paikkojen esittelyyn ja perinteiseen viihdemuotoiseen tarinankerrontaan.

Koska video näyttää kaiken ympärillä tapahtuvan, myös videon katsomisen kuvakulma suuntautuu pallon keskeltä ulkokehälle ja katsoja saa itse vaikuttaa, mihin suuntaan videota katsoo, mihin asioihin keskittyy ja millaisen kokemuksen koko 360-videosta saa. Tämän uuden interaktiivisen ulottuvuuden videossa, tarkemmin sanottuna ympäröivässä mediassa, seurauksena jokainen katsoja voi saada aivan erilaisen, henkilökohtaisen kokemuksen videosta, joka on kuitenkin sama kuin toisella katsojalla. Perinteisessä videossa katsojat voivat toki keskittyä eri kohtiin kuvaruutua, mutta 360-videoissa katsojat voivat täysin vaihtaa koko kuvaruudun aivan toiseen.

360-videoiden uudet ominaisuudet suhteessa perinteiseen videomediaan luovat uuden mahdollisuuden kerätä statistiikkaa käyttäjien katsomistottumuksista ja erityisesti interaktiosta videoiden kanssa. Mielenkiintoiseksi nousee erityisesti kysymys siitä, katsoivatko käyttäjät samoja asioita videon aikana eli keskittivätkö he kuvaruutunsa samaan osaan 360-videon ulkokehää vai keskittivätkö he aivan eri asioihin ja oliko keskittymiskohta se sama kohta, johon videon tuottanut taho oletti katsojan keskittyvän. Tällaista statistiikkaa keräämällä ja analysoimalla voi paljastua mielenkiintoisia havaintoja käyttäjien katselutottumuksista, minkä avulla videomateriaalista voidaan tehdä entistä parempaa ja sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi mainonnassa. Yksi tapa käyttäjästatistiikan tutkimiseen on erilaisten visualisointien käyttäminen. Käyttäjien katsomustapojen visualisoinnin avulla voidaan helposti hahmottaa videoilla katsojia kiinnostavat kohdat.

Tässä opinnäytetyössä pyritti selvittämään, miten lämpökarttoja käytetään ympäröivän median katselun visualisoinnissa ja millaisia haasteita niiden luontiin erilaisilla alustoilla liittyy. Erityisesti, miten niiden luominen modernissa www-selaimessa ajonaikaisesti eli lämpökartan tarkasteluhetkellä kannattaisi toteuttaa ja mitä haasteita siihen liittyy. Lämpökarttojen luomista varten on tutkittu erilaisia tapoja kerätä katselusessioista dataa ja tallettaa se sopivaan muotoon myöhempää käyttöä varten. Lämpökarttoja on muodostettu sekä offline-tilassa eli ilman reaaliaikavaatimusta eräajona myöhempää tarkastelua varten ja ajonaikaisesti www-selaimessa.

ABSTRACT

PIETARI HEINO: Visualizing 360 video viewer statistics

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 39 pages

January 2018

Master's Degree Programme in Information Technology

Major: Software Engineering

Examiner: Professor Petri Ihantola

Keywords: 360 video, vr, visualization, heatmap

360 videos are getting more and more popular along the many new applications of virtual reality. 360 videos are a new and modern media format where a video is shoot in a new perspective. In 360 video format, the filming happens from inside a sphere's center and the action happens on the outer edge of the sphere. This filming usually happens with new camera machines which are built of many individual cameras aimed at all directions to capture the whole view of what's happening around the camera rig. These new kinds of videos are used for all possible purposes, for instance giving a tour of a certain interesting place or traditional storytelling.

This new perspective of the 360 video also gives the viewer a new possibility to interact with the video viewing experience. Since the video is shot from inside the sphere, the viewer can interact with the video and choose which part of the sphere's outer edge to watch, in which things to concentrate, and really affect what kind of an experience the 360 video is giving the viewer. This new interactive dimension in the video format gives each and every viewer the possibility to experience the same video completely differently than the other viewers, it makes it possible to have a personal experience. In traditional video all viewers have been able to concentrate on different things shown on the screen but in 360 video format the viewers can choose completely different views to start with.

The new capabilities in 360 video format come with a new possibility of capturing viewer statistics of viewing, interaction, and so on. Unknown questions to be answered from the statistics could be, for instance, whether all viewers concentrate on the same parts of the 360 video and whether the viewers and the video creators find the same parts of the 360 video meaningful. Collecting this kind of viewer statistics from 360 video wathing may provide answers to questions about viewers' viewing habits and opinions of particular videos which can then help in making even better content in 360 video format. The statistics could also provide useful information for advertisers interested in the 360 video space. One way to analyze the statistics is to generate visualizations. Visualizations paired with the original video material can easily and quickly show how viewers interact with the 360 videos.

This master's thesis concentrates on heatmaps, how they could be used to visualize viewer statistics of 360 videos and what sort of challenges they come with when done on different platforms. More specifically, it has been studied how the generation of heatmap visualizations should be done in real-time using the web browser as a platform. In addition to real-time browser based heatmap generation, also the collecting of statistics has been studied, and generation of visualizations in offline batch jobs without the web browser has been studied, too.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Tampereen Teknillisen yliopiston Tietotekniikan laboratoriollla kesän ja syksyn 2018 aikana osana Tekesin 360 Video Intelligence -projektia, johon osallistui myös useita yrityksiä, kuten Nokia ja Leonidas. Haluan kiittää ohjaajaani ja työn tarkastajaa Petriä ja muita työkavereita laboratoriollla, jotka antoivat hyviä kommentteja ja ajatuksia. Kiitos myös puolisololleni Susalle, joka patisti tekemään työtä.

Tampereella 23.1.2018

Pietari Heino

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	KIRJALLISUUSKATSAUS	4
2.1	Virtuaalitodellisuus	4
2.2	360-videot	7
2.3	Videoanalytiikka ja 360-videot	11
2.4	Visualisaatioiden käyttö	15
2.5	Datasetit	17
2.6	360-videoiden visualisointiratkaisut	18
2.6.1	Liittymät ja haarautumat	18
2.6.2	Katsojan näkymät, yleisnäkymät	19
2.6.3	Palloprojektionäkymät	20
2.6.4	Pikselitodennäköisyyslämpökartat	21
2.6.5	Perinteiset janakaaviot	22
3	TULOKSET	23
3.1	Käyttäjätatistiikan kerääminen	23
3.1.1	Millaista dataa kerätään	23
3.1.2	Katselu ympäristön rajoitteet ja datan varsinainen keräys	25
3.1.3	Lokituspalvelin	26
3.2	Visualisointien luominen	27
3.2.1	Lämpökartat eräajona offline-tilassa	28
3.2.2	Lämpökartat ajonaikaisesti selaimen videosoittimessa	30
4	ANALYYSI	34
4.1	Statistiikan talletus ja hyödyntäminen	34
4.2	Lämpökarttageneroinnin menetelmien huomioitavat yksityiskohdat	35
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	38
	LÄHTEET	39

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Venturebeatin havainnollistus virtuaalitodellisuuden käytöstä nyky- päivän moderneilla laitteilla. Kuvassa käyttäjän päässä nähdään virtuaalilasit ja käsissä sauvat, joiden avulla maailman sisällä voi olla kosketuksessa. Seiniin kiinnitetyt sensorit tarkkailevat käyttäjän liikehdintää.</i>	5
Kuva 2.	<i>Techcrunchin ympäröivän median kokijaroolien jaottelu</i>	8
Kuva 3.	<i>Habig (2016): 360-videomainos, jossa hiirellä liikuttamalla voi kat- sella eri suuntiin. Vasemmassa alakulmassa linkki, josta pääsee al- kuperäiseen pitkään videoon. Videon alalaidassa keskellä 360-videoille ominainen musta läikkä, jossa ei näy videokuvaa. Läikän aiheut- taa usean kameran kuvan yhdistämisen haasteet ja yleisesti samas- sa paikassa sijaitsevan kuvaajan tai kuvauslaitteiston seisominen.</i>	11
Kuva 4.	<i>T. Blascheck & Ertl (2014): keskeisimmät analytiikan käsitteet</i>	12
Kuva 5.	<i>Matt Yu (2015): Esimerkki 360-videon katselusta sen keskipisteestä tapahtumien ulkoreunalle. Merkitty suorakaide kuvaa yhden katse- lijan näkemää kaistaletta ympäröivästä videosta.</i>	13
Kuva 6.	<i>Tasavälinen lieriöprojektiio Facebookin 360-videotekniikan esittelystä</i>	14
Kuva 7.	<i>Yksinkertainen lämpökarttavisualisaatio, jossa arkipäivien aamuil- le, päiville ja illoille on kuvattu jotkin vaihtelevat luvut</i>	15
Kuva 8.	<i>Yksi AOI-visualisaatioista. Puumainen rakenne kuvaa eri peräkkäis- ten mielenkiinnonkohteiden ketjuja fonttikoon merkityssä katselujen määrää. (T. Blascheck & Ertl 2014)</i>	16
Kuva 9.	<i>Xavier Corbillon (2017) datasetin keräysjärjestelyjen kuvaus</i>	17
Kuva 10.	<i>Thomas Lowe & Magnor (2015) View Similarity -visualisaatio</i>	18
Kuva 11.	<i>Thomas Lowe & Magnor (2015) View Similarity, tarkennus</i>	19
Kuva 12.	<i>Katsojien näkymät, yleisnäkymät (Thomas Lowe & Magnor 2015)</i>	19
Kuva 13.	<i>Palloprojektionäkymät (Thomas Lowe & Magnor 2015)</i>	20
Kuva 14.	<i>Kunkin pikselin näkymistodennäköisyydet Xavier Corbillon (2017)</i>	21
Kuva 15.	<i>Katselusuuntien etäisyyden mediaanit ajan funktioina. Jokainen ja- na kuvastaa yhden videon mediaania. Xavier Corbillon (2017)[todo] .</i>	22
Kuva 16.	<i>Katsojan näkökulmasta eri suunta-akselit, joiden suhteen videon kat- seluun voi itse vaikuttaa (Dupin 2017)</i>	24
Kuva 17.	<i>Englannin energiankulutusta kuvaava lämpökartta (Michel 2012)</i>	27
Kuva 18.	<i>Selaimessa videon päälle muodostettu lämpökartta</i>	30
Kuva 19.	<i>Sivuttaissuunnassa skrollaantuva lämpökartta usean videon päälle piirrettynä</i>	32

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AOI	Area-of-Interest, mielenkiinnonkohdealueet, johon silmät keskittyvät
HMD	Head-Mounted Display, virtuaalilasit tai muut päässä pidettävät lasit
VR	Virtuaalitodellisuus
Ympäröivä media	Virtuaalitodellisuus ja 360-videot

1. JOHDANTO

"Virtuaalitodellisuus on vaihtoehtoinen maailma täynnä ihmisen liikehdintään vastaavia tietokoneen luomia kuvia. Näissä todellisuutta jäljittelevissä ympäristöissä vierailaan useimmiten pukeutuen kalliiseen stereoskooppiset videolasit ja kuituyhteydelliset hanskkaat sisältävään tietopukuun."

Tämä on yksi virtuaalitodellisuuden klassisista määritelmistä 1990-luvun alusta (Steuer 1992). Samoihin aikoihin artikkelissaan *Virtual Reality is For Real* J. A. Adam totesi virtuaalitodellisuuden "juuri ja juuri toimivan", mutta kärsivän ajan heikoista laitteistotehoista. Vuosikymmen myöhemmin havaittiin, että virtuaalitodellisuutta voidaan käyttää oikeisiin tarkoituksiin oikeissa teollisuusyrityksissä eikä vain viihteenä, ja että se "melkein toimii" (Brooks 1999). 16 vuotta myöhemmin laaja tutkimus on todennut virtuaalitodellisuuden toimivan; se on kehittynyt, vakaa ja erityisesti käytettävä (Leif P. Berg 2015).

Virtuaalitodellisuuden kulutus on lisääntynyt merkittävästi 2010-luvulla useiden teollisuusalojen ottaessa käyttöön erilaisia virtuaalitodellisuuden sovellutuksia. Useat yritykset ovat panostaneet molemmissa ympäristöissä käytettäviin lisälaitteisiin, kuten virtuaalilaseihin, jotka mahdollistavat ympäristön käytön, ja 360 asteen videokameroihin, jotka mahdollistavat ympäristössä kulutettavan materiaalin luonnin, ja niiden myyntimäärät kuluttajille ovat alkaneet nousta. Virtuaalitodellisuuden yleistymistä auttaa myös 360-videon yleistyminen. Artikkelissaan *Redefining The Axiom Of Story: The VR And 360 Video Complex* Devon Dolan pitää 360-videoita virtuaalitodellisuuden kuluttajaomaksutuksen avainmahdollistajana ja nimeää Googlen ja Facebookin teknologian yleistymisen edistäjiksi (2016). 360-video on mediana mukaansatempaava tapa kokea liikkuvaa kuvaa aivan uudenlaisesta näkökulmasta kuin mihin perinteisen videon alkupäivistä asti totuttu. 360 asteen video on kuvattu usean kameran yhdistelmällä ja nimensä mukaisesti se näyttää tapahtumat täyden ympyrän keskipisteestä (2016). Videoelämys voi näin ollen olla kovin erilainen riippuen siitä, mitkä asiat videolla kutakin katsojaa kiinnostavat. Dolan myös korostaa, että 360-videoita ja virtuaalitodellisuutta ei saa sekoittaa, vaikka niin helposti käykin valtamediassa ja käyttäjien puheissa; ne ovat eri teknologiat, joista pitkällä aikajänteellä virtuaalitodellisuus yleistyy videoiden jäädessä paitsioon. Yhdistävä tekijä teknologioilla on Head-Mounted Display (HMD) eli virtuaalilasit, jotka päässä voi kokea sekä virtuaalitodellisuuden ympärille rakennettuja elämyksiä että 360-videoiden tarinoita.

Analytiikka ja tilastot käyttäjien toimintatavoista ja erilaisten palveluiden kulutuksesta on ollut aina tärkeä osa palveluiden kehittämistä. Kun käyttäjä käyttää mitä tahansa palvelua, sovellusta tai toimintoa tietokoneella, älypuhelimella tai jollakin mulla päätelaitteella, on tästä perinteisesti kerätty käyttödataa. Käyttödata on puolestaan analysoitu ja

siitä on muodostettu palveluntarjoajaa kiinnostavia tilastoja. Käyttödataan on voitu tallettaa sellaisia tietoja, kuten kuka käytti, kuinka kauan käyttö kesti, miten usein käytettiin, millaisessa tilanteessa käyttö lopetettiin ja niin edelleen. Näiden tietojen analyysien perusteella palveluja on voitu parantaa esimerkiksi kohdistamalla yrityksen kehityspanostus niihin asioihin, jotka kiinnostavat käyttäjiä. Samoista tilastoista on saatu myös dataa kolmansille osapuolille, kuten palveluissa mainostaville tahoille, joilla on ollut insentiivi tietää käyttäjistä mahdollisimman paljon tietoja kohdistukseen ja valitakseen käytettävät mainokset mahdollisimman tehokkaasti.

Uuden virtuaalimaailman ja 360-videoiden vuoksi on tullut tarve kerätä uudenlaista analytiikkaa siitä, miten eri käyttäjät ovat katsoneet ja kuluttaneet näitä uusia formaatteja käyttäviä materiaaleja erilaisia medioita käyttäen. Siinä missä perinteisessä videoanalytiikassa on ollut riittävää tietää, kauanko yksittäinen katselusessio kesti, minne katsojan silmät kohdistuivat ja mitä tuossa osassa näkökenttää kullakin ajanhetkellä näkyi (T. Blascheck & Ertl 2014), on 360-videoiden kannalta äärimmäisen merkityksellistä tallettaa myös tieto katselukulmasta, sillä jokainen katsoja voi itse valita, mihin videon suuntaan keskittää katseensa (Thomas Lowe & Magnor 2015). Käytännössä on siis tarve kirjjanpidolle käyttäjän näkökentästä eli katsomisen vaaka- ja pystysuuntaisesta kohdistumisesta 360-videon sisällä. Koska jokaisella käyttäjällä voi olla hyvin erilaiset kiinnostuksen kohteet eri aihepiireistä kuvattua videomateriaalia katsoessaan, on videon kuvaajan mahdotonta tietää ennakoon, minne kukin tulee katsomaan. Mahdollisimman tarkkojen tilastojen kerääminen tulee tärkeäksi samoista syistä kuin perinteisten mediaformaattien analytiikassa: miten luoda parempaa sisältöä, jonka kanssa käyttäjä mieluummin viettää vielä kauemmin aikaansa.

Kerätyn käyttäjästatistiikan seurauksena tulee ilmiselvää tarve käyttää dataa johonkin. Datat analyysin antamien tulosten pohjalta voidaan luoda parempaa sisältöä ja ymmärtää käyttäjien katsomistottumuksia. Ei kuitenkaan ole täysin selvää, mikä on paras tapa analysoida 360-videoiden käyttäjästatistiikkaa ja etsittävien tulostenkin luonne ei välttämättä ole täysin selkeästi rajattu. Daniel A. Keim huomauttaa, että kaikki ongelmat, joihin yritetään etsiä vastausta data-analyysin avulla, eivät ole niin tarkasti rajattuja, että yksittäiset algoritmit ja suora laskentateho antaisi ongelmille selkeitä ratkaisuja tai merkityksellisiä tuloksia. Tällaisten asioiden tutkimisessa visualisaatioiden käyttö analyysin yhteydessä on usein hyödyllistä ja mahdollistaa myös uusien analyysikohteiden keksimisen, jos visualisaatioihin saadaan interaktiivisuutta mukaan ja käyttäjän on mahdollista etsiä ratkaisua kokeilemalla erilaisia keinoja (2009). Käyttäjän katsoessa 360-videota näkymässä on aina vain yksi suunta kerrallaan ja suurin osa videolla näkyvistä muista suunnista on pimennossa, mutta jälkikäteen tehtävää visualisointia varten 360 asteen video voidaan muuntaa esimerkiksi tasaväliseen lieriöprojektiioon, jolloin se mahtuu kuvaruudulle kerralla kokonaan. Tälle projektiolle, joka on yksinään verrattain käyttökelpoton venymisen vuoksi ja pilaisi oikean videoelämyksen, on äärimmäisen kätevä muodostaa käyttäjätilastojen pohjalta visualisointeja. Toisin sanoen piirtää visualisointi alkuperäisen 360-videon päälle. Visualisoinnin piirtäminen projisoidun videon päälle videon katselun yhteydes-

sä kerätyn datan perusteella mahdollistaa käyttäjien käyttäytymistä seuraavan visuaalisen analyysin, jonka avulla analyysin tekijä saa hyödyllistä tietoa käyttäjien käyttäytymisestä katselun aikana. Koska 360-videot ovat vasta yleistymässä, on kaupallisia analytiikkapalveluita verrattain vähän. Muutama yritys on kehittänyt omia visualisointikeinojaan ja uudenlaisten visualisointien soveltuvuudesta on myös tehty tutkimusta (mm. Thomas Lowe & Magnor (2015)).

Tässä diplomityössä on tutkittu 360-videoanalytiikan ja sen avulla kerätyn datan visualisoinnin haasteita. Tarkemmin on selvitetty jo olemassa olevien visualisointimenetelmien toimintaa ja selvitetty, voisiko visualisointia tehdä jollakin uudella tavalla. Tutkimuskysymyksenä on selvitetty, miten visualisointien luominen onnistuu ilman reaaliaikavaatimusta taustapalvelimella eräajona ja miten visualisoinnin voi toteuttaa reaaliaikaisesti, dynaamisesti ja interaktiivisesti Internet-selaimessa. Havaintojen tekemiseen on käytetty sekä itse kerättyä käyttäjädataa että avoimia datasettejä aiemmin julkaistusta tutkimuksesta.

Työ on jaettu seuraavasti. Johdannon jälkeen on kirjallisuuskatsaus, jossa käsitellään käyttäjästatistiikan keräämistä, perinteistä videoanalytiikkaa ja virtuaalitodellisuuden ja 360-videoiden aiheuttamia haasteita analyyseistä tehtäville visualisoinneille. Tämän jälkeen esitellään jo olemassa olevia kaupallisia ratkaisuja 360-videoanalytiikan visualisointiin ja muuta tehtyä visualisointiin liittyvää tutkimusta. Tuloksissa esitellään työtä varten analytiikan keräykseen ja visualisointien luomiseen toteutetut järjestelmät. Analyysissä vertaillaan toteutuksia ja pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen. Lopuksi johtopäätöksissä kootaan työ yhteen.

2. KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Virtuaalitodellisuus

"What the eyes see and the ears hear, the mind believes." (Harry Houdini)

Leif P. Berg vertaa virtuaalitodellisuutta Houdinin sanoihin. Virtuaalitodellisuus on kaikin syvimmältä olemukseltaan inhimillinen kokemus. Se on teknologia, joka on rakennettu jäljittelemään ympäröivää maailmaa ja samalla hyväksikäyttämään ihmisen ymmärrystä siitä. Teknologia korvaa, vaihtaa ja jäljittelee oikean maailman asioita virtuaalitodellisuuden vastikkeilla. Tietokoneiden käyttämät algoritmit jäljittelevät maailmaa, näytöt tarjoavat jäljitelmän ihmisen aisteille ja viimeiseksi ihmismieli muodostaa näistä paloista syntyneen kokonaiskuvan, virtuaalitodellisuuden kokemuksen (2015).

Virtuaalitodellisuus mahdollistaa ihmisen vuorovaikutuksen alati kasvavan digitaalisen maailman kanssa ja sitä usein kuvataankin kokonaisuutena erilaisia teknologioita, jotka mahdollistavat todellisuuden rajat ylittävän maailman kokemisen (Leif P. Berg 2015). Se on rakennettu teknologioista, joiden tarkoituksena on kokemuksen todellisuudentuntuisuuden kasvattaminen. Näitä ovat esimerkiksi näytöt, kypärät, datalasit, tilatietoiset äänimaailmat ja liikkeeseen reagoivat sensorit, joiden kaikkien tarkoituksena on mahdollisimman aidolla tavalla puhutella, välittää informaatiota, jollekin ihmisen aisteista. Oikein ja aidosti toteutettuna virtuaalitodellisuuskokemukset vakuuttavat käyttäjän aistit uskomaan ja kokemaan läsnäolon keinotekoisen maailman sisällä. Tämän läsnäolon tunteen tuominen teknologian keinoin mukaan erottaa virtuaalitodellisuusjärjestelmät perinteisistä laitteista ja tietokoneohjelmista.

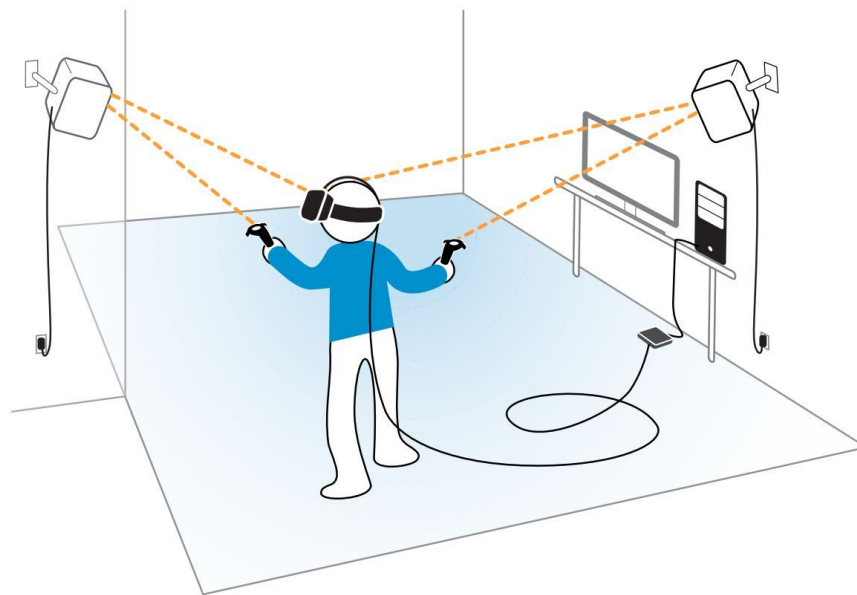
Vuonna 1999 löydettiin neljä välttämätöntä vaatimusta laitteistolle käyttäjälle aidon tunteisen virtuaalitodellisuuden luomiseksi (Brooks 1999):

- Visuaalisuutta, kosketusta ja kuuloaistia yhdistelevien näyttöjen tulee upottaa käyttäjä virtuaalitodellisuuden sisälle ja sulkea oikeasta maailmasta tulevat ristiriitaiset aistimukset kokemuksen ulkopuolelle
- Grafiikkajärjestelmän tulee generoida 20 – 30 kuvaa sekunnissa
- Käyttäjän pään ja raajojen liikehdintää tulee seurata ja raportoida jatkuvasti
- Realististen virtuaalitodellisuuden mallien luomiseen ja ylläpitämiseen tietokantajärjestelmä

Näiden neljän ehdottoman vaatimuksen lisäksi neljä hieman vähemmän tärkeää vaatimusta olivat:

- Keinotekoisesti luotu äänimaailma korville sisältäen suunnattuja ääniä ja simuloituja äänikenttiä
- Keinotekkoisten fyysisten voimien ja muiden aistihavaintojen esittäminen aisteille
- Jonkinlaiset laitteet, kuten liikkeen suhteen seuratut painonappuloilla varustetut hansikkaat, joiden avulla käyttäjä esittää vuorovaikutuksensa virtuaalisten esineiden kanssa
- Kanssakäymistekniikat, jotka vastaavat fyysisen maailman mahdollistamia vuorovaikutustapoja esineiden kanssa

Nämä vaatimukset ja määritelmät ovat kuitenkin laitteisto- ja teknologiakeskeisiä eivätkä ota kantaa käyttäjän tunnetilaan. Steuer katsookin tarpeelliseksi etsiä määritelmää virtuaalitodellisuudelle ihmisen kokemuksen kautta. Kokemuksen tutkimisessa läsnäolo on avainasemassa ja se määritellään johonkin ympäristöön kuulumisen tunteeksi. Läsnäolon tuntemukseen vaikuttavat useat ympäristön aiheuttamat ärsykkeet ja niiden omaksuminen mielen käsittelemien menneiden kokemusten ja ajankohtaisten asioiden rinnalla. Virtuaalitodellisuudessa läsnäolon tunne saavutetaan etäläsnäolon (telepresence) kautta; etäläsnäolo on läsnäoloa jonkin tiedonvälityskanavan mahdollistamana. Steuer katsoo, että on merkityksellistä löytää virtuaalitodellisuuden määritelmä ilman viittausta minkäänlaisiin laitteistoihin, sillä laitteistokeskeinen määritelmä rajaa kaiken laitteiston ominaisuuksien ympärillä. Rajauksen seurauksena itse virtuaalimaailmaa ympäristönä on hankala tutkia ja sen muuntumiseen ja eri toteutusten eroihin ei oteta kantaa (1992).



Kuva 1. Venturebeatin havainnollistus virtuaalitodellisuuden käytöstä nykypäivän moderneilla laitteilla. Kuvassa käyttäjän päässä nähdään virtuaalilasit ja käsissä sauvat, joiden avulla maailman sisällä voi olla kosketuksessa. Seiniin kiinnitetyt sensorit tarkkailevat käyttäjän liikehdintää.

Tämän diplomityön kannalta kuitenkin perinteinen laitekeskeinen määritelmä on sopiva.

Steuer (1992) listaa muutaman klassisen laitekeskeisen määritelmän 1990-luvun alusta, joissa kaikissa keskitytään elektronisesti simuloituihin ympäristöihin, joiden kanssa käyttäjä on vuorovaikutuksessa virtuaalilasien ja -hansikkaiden avulla. Virtuaalitodellisuus voidaan siis todeta olevan laitteiden, useimmiten virtuaalilasien ja liikehdintää seuraavien hansikkaiden, luoma tietokoneella luotu ympäristö, jossa käyttäjä voi vuorovaikuttaa muiden ympäristön asioiden ja esineiden kanssa. Useimmiten virtuaalitodellisuudessa esitetään esimerkiksi pelejä tai muuta viihdettä ja teollisuuden laitesimulaatioita.

2.2 360-videot

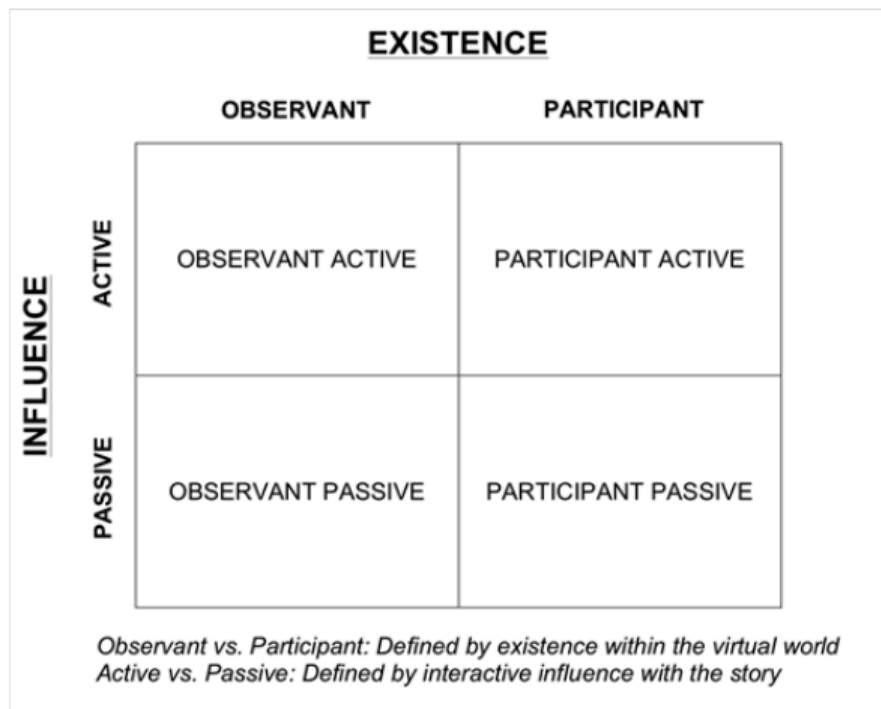
Jo vuonna 1996 S. Moezzi totesi immersiiivisen eli ympäröivän videon tulevan olemaan paradigman muutos visuaalisessa kommunikaatiossa ja mullistamaan perinteisen televisio- ja videomedian. Jahka ympäröivä video löisi läpi, siitä tulisi keskeinen osa tulevaisuuden etäläsnäolo- ja virtuaalitodellisuusjärjestelmiä. Tutkijat valmistsivat järjestelmän, jossa useaa kameraa käyttäen eri suunnista kuvatun tapahtuman pystyi tietokoneohjelman avulla käsittelemään ja muodostamaan 3D-malliksi, minkä avulla jokaisen käyttäjän oli mahdollista itse valita sopiva tarkastelukulma tapahtuman katsomiselle. Järjestelmä oli kuitenkin mutkikas ja vaati useita kameroita, paljon käsittelyä ja mm. tapahtumapaikan erillisen kuvaamisen sulavien taustojen mahdollistamiseksi. Myös katseluun tarvittiin erillinen ohjelmisto (1996). Nyt 20 vuotta myöhemmin 360-videot yleistyvät kovaa vauhtia, kun Googlen ja Facebookin kaltaiset isot yhtiöt tuovat työkaluja ja materiaalia tavallisten kuluttajien saataville. 360-video vastaa parhaiten niitä odottamuksia, joita S. Moezzi (1996) odottivat mullistamaan median maailmaa, vaikkakin se on toteutukseltaan verrattain yksinkertaisempi ja antaa käyttäjilleen erilaisen tavan hallinta tapahtumien katsomista. Modernit monikamerajärjestelmät kuvaavat useaan suuntaan samaan aikaan ja automaattisesti prosessoivat valmiin 360-videon, jota käyttäjän on mahdollista katsoa tavallisilla, arkipäiväisillä tietokoneilla, mobiililaitteilla ja jopa älytelevisioilla. 360-videot ovat saapuneet pysyäkseen osana nykypäivän mediamuotoja.

Vuonna 2015 Google YouTube ja Facebook julkaisivat tuen 360-videoille sivuillaan ja sovelluksissaan. Tavallisen käyttäjän on mahdollista lisätä 360-videomateriaalia jopa suoraan kamerasta, koska yhtiöt ovat kehittäneet tuen suoraan kameroiden alustoihin. Taustalla on yleisen 360-videokiinnostuksen kasvu ja sen suitsiminen. Samalla keskitettyjen, 360-videoita tuottavien kamerajärjestelmien markkinat ovat lähteneet kasvuun ja hintoja on pyritty painamaan alas. Lukuiset yritykset ovat tuoneet markkinoille omat kuvauslaitteistonsa, mm. Nokia, Facebook ja Google. 360-videoista on pyritty tekemään helposti lähestyttäviä ja saatavilla olevia sekä niiden valmistuksen että niiden kuluttamisen kannalta, sekä yrityksille ja brändeille, jotka haluavat ottaa käyttöön uusia keinoja brändin esille tuonnissa, että kuluttajille, jotka haluavat mahdollisimman yksinkertaisesti ilman korkeaa kynnystä kuluttaa uutta mediaa.

Huomiota kannattaa kuitenkin kiinnittää myös 360-videoiden kulutuksen yleistymisen kääntöpuoleen: uusi mediaformaatti mahdollistaa uudet mainostuskäytännöt ja mahdollisuudet käyttäjien toimien ja käytöksen seuraamiselle. Constine epäilikin artikkelissaan Facebook Unleashes VR-Style 360 Videos For Ads And iOS jo uusien palvelujen lanseerauksen yhteydessä, että taustalla on tarve pysyä aallonharjalla ja lopulta mahdollistaa uusi mainostuskanava (2015). Sosiaalisen median alustat ovatkin erinomaisia uusien mediamuotojen levittämiseksi. Viimeisimmät edistysaskeleet uusien mediamuotojen saralla mahdollistavat mediankulutuspalveluiden aina vain raikkaalta ja elävältä tuntuvan tarjooman, johon käyttäjä ei muuta kautta pääse käsiksi. Siinä missä alkujaan palveluissa on jaettu vain tekstiä, on kuvat ja videot nykyään arkipäivää. Samaan aikaan kuvien ja videoiden sekaan on käyttäjän näkökulmasta täysin arkista lisätä mainospätkä, se ei tunnu

ollenkaan kummalliselta. Kun uutta formaattia on näytetty käyttäjille niin paljon, että se ei tunnu enää eksoottiselta ja uudelta, vaan arkipäiväiseltä ja sellaiselta, johon törmää tuon tuostakin, on palvelun ylläpitäjän merkittävästi luontevampaa alkaa näyttää mainoksia tässä uudessa mediakanavassa (Constine 2015). Tämän pisteen saavuttamiseksi palvelujen onkin suotavaa tuoda erilaiset työkalut ja palvelut uuden median käyttöönoton mahdollisimman sulavaan käyttöönottoon kaikkien tahojen saataville.

Siinä missä virtuaalitodellisuudessa käyttäjä toimii luonnollisena jatkeena virtuaalimaailmalle mahdollistaen ympäröivää mediaa rikkaammat vaikuttamismahdollisuudet tapahtumien kulkuun, 360-videossa käyttäjä ottaa tarkan, mutta vaikutettavan paikan median sisällä. Devon Dolan vertaa virtuaalitodellisuuden ja ympäröivän median eroa autossa ratin kääntelyyn ja pelkääjän paikalla istumiseen – virtuaalitodellisuudessa siis on mahdollista vaikuttaa tapahtumien kulkuun, kun taas ympäröivässä mediassa voi itse vaikuttaa kokeemukseensa ilman interaktiota ja kausaalisuutta tapahtumien kulun kanssa. Eniten kyse on olemassaolosta ja vaikutuksesta (2016):



Kuva 2. Techcrunchin ympäröivän median kokijaroolien jaottelu

Taulukossa on jaettu median kokeminen ja sen kanssa myötävaikuttaminen kahden akselin, olemassaolon ja vaikutuksen, suhteen neljään erilaiseen mediankokijatyyppiin, jotka ovat aktiivinen tarkkailija, passiivinen tarkkailija, aktiivinen osallistuja ja passiivinen osallistuja. Nämä tyypit kuvaavat tapaa, jolla tietty media on tehty kulutettavaksi ja koetettavaksi. Median tekijä, filmikuvaaja, tarinankertoja tai pelisuunnittelija, on ennalta määrittänyt, millaisia vaihtoehtoja, valintoja, mahdollisuuksia ja vaikuttamismekanismeja mediankuluttajalle annetaan. Kuluttaja, käyttäjä ei voi itse tehdä valintaa aloittaessaan median katsomisen, vaan mukautuu tekijän päättämään rooliin. Vaikka roolit ovatkin katso-

jan kokemustapaa ja vaikuttamismahdollisuuksia kuvaavia, ne itse asiassa määrittelevät median itsensä kokijan kautta, ei kokijaa. Kokijat ovat:

- Passiivinen tarkkailija. Roolina passiivinen tarkkailija on kaikista läheisin totuttuun, arkipäiväiseen mediaan, kuten televisio-ohjelmat ja elokuvat. Siinä katsoja ei ole olemassa tarinankertojan luoman maailman sisällä, vaan katsoo vain tapahtumien tapahtumista toinen toisensa jälkeen. Katsojalla ei ole myöskään minkäänlaisia vaikutusmahdollisuuksia tapahtumien kulkuun, vaan ne on ennalta määrätty ja tarinankertojan suunnitellamat.
- Aktiivinen tarkkailija. Passiivisesta tarkkailijasta pidemmälle viety, vaikutusmahdollisuuksia omaava tarkkaileva katsoja. Vaikutusmahdollisuudet ovat kuitenkin tarinankertojan tarkasti määrittelemiä eli mikä tahansa lopputulema ei ole mahdollinen. Tarinankertoja on voinut määritellä esimerkiksi useita eri loppuja elokuvalle, jotka katsoja valitsee nappia painamalla. Kombinaatioiden määrä on rajattu. Aktiivisen tarkkailijan tarinankerrontatyyli on erittäin yleinen esimerkiksi tietokoneroolipeleissä, joissa käyttäjän on mahdollista vaikuttaa hahmojen keskustelujen etene miseen, mutta ei millä tahansa tavalla.
- Passiivinen osallistuja. Uudenlainen, vähemmän käytetty rooli, jossa mediankuluttaja ei ole osana tapahtumia niihin vaikuttajan tai niitä ohjailevan tahon asemassa, mutta vastaanottaa tarkoituksella vain katsojalle suunnattua, muulta tapahtumamaailmalta piilotettua sisältöä. Esimerkiksi House of Cardsin Frank Underwood kääntyy kameralle ja puhuu suoraan katsojalle ilman, että muut tapahtumamaailman sisällä kiinnostavat siihen mitään huomiota. Frankin puhe on suunnattu katsojalle tarkoituksella ja harkitusti.
- Aktiivinen osallistuja. Tässä roolissa katsoja on olemassaolon ja vaikuttamisen yhdistelmäpisteessä. Katsojalla voi olla rooli tai merkitys koetun tarinan sisällä ja katsojalla on mahdollisuus vaikuttaa tapahtumien kulkuun. Tapahtumamaailma huomioi aktiivisen osallistujan roolissa olevan katsojan ja muuntuu sen toimien mukaisesti. Tarinankerronta ei kuitenkaan ole täysin vapaata, vaan se noudattaa jonkinlaista kaavaa. Grand Theft Auto -pelisarja on esimerkki tämän roolin kokemisesta ja vaikutuksesta.

Näiden määritelmien vertaaminen Steuer (1992) etäläsnäolon korostamiseen tuo esille 360-videoissa ja virtuaalitodellisuudessa ennennäkemättömällä tavalla esille tulevan tarinankerronnan ja tapahtumien henkilökohtaisen kokemuksen ja vuorovaikutussuhteen korostumisen. Elokuvamaisen tarinankerronnan merkitys ja vaikutukset muuttuvat uusien ympäröivien medioiden mahdollistavien medioiden läpilyönnin seurauksena, ja Devon Dolan tiivistääkin "360-video ja virtuaalitodellisuus työntävät katsojan symbioottiseen vuorovaikutussuhteeseen tarinan kanssa ja tarjoavat vuosisadan mittaisesta elokuvankulutus-kulttuurista poikkeavaa toimintaa ja näkökulmaa"(2016).

Mainostajien kannalta kiinnostavia kysymyksiä 360-videoiden suhteen ovat mm. katsojien erilainen käyttäytyminen perinteiseen videoon verrattuna ja sen mahdollistama mai-

nosten uudenlainen asemointi. Siinä missä perinteisessä videomainonnassa mainokset usein näytetään katsojaa kiinnostavaa videota ennen, jälkeen tai katselun keskellä ja harvemmin itse videon sisällä, 360-videoformaatti voi mahdollistaa mainonnan paremman integroinnin osaksi tarinankerrontaa. Koska videon päätapaukset sijoittuvat kuitenkin useimmiten yhteen kohtaan koko 360-videon aluetta, voisi muita videon alueita ehkä käyttää mainosten upottamiseen ja lisätä niihin esimerkiksi jonkinlaista interaktiota, kuten klikkauksella avautuvia linkkejä tai lisäinfotekstejä.

Kesällä 2016 Think With Google järjesti Columbia Sportswearin kanssa pienen kokeen, jossa mitattiin 360-videomainosten toimintaa perinteistä formaattia vastaan (Habig 2016). Perinteisen mainosvideoformaatin avainlukujen, kuten kuinka moni katsoja katsoi koko videon ja kuinka kauan katsojat jaksoivat katsoa videota, lisäksi kerättiin avainlukuja myös 360-videon kanssa tehdystä interaktiosta eli siitä, kuinka paljon katsojat liikuttelevat kuvakulmaa hiirtä ja kosketusta käyttäen. Mainosvideoiden, jotka näytettiin Youtubessa, vasemmassa alakulmassa näytettiin myös linkki kokopitkään alkuperäisvideoon, jonka katsoja saattoi haluta katsoa nähtyään parhaita paloja mainosvideossa. Videojen sisältö oli sama, kaksi ammattilaislaskettelijaa harjoittelemassa yhdessä, ja ne kestivät 60 sekuntia.

Ennakkoon tutkimusryhmä epäili, että 360-videon katsomisaika ja läpikatsomisluvut olisivat perinteistä videota paremmat, mutta yllättivät seuraavista tuloksista:

- Sekä työpöydällä että mobiilissa 360-videomainoksen katsomisaika ja läpikatsomisluvut olivat huonommat kuin perinteisellä videolla
- 360-videomainosta katsottiin ajallisesti vähemmän, mutta useampi käyttäjä klikkasi kokopitkään alkuperäisvideoon vievää linkkiä
- 360-videomainoksen katsojat jakoivat mainosta sosiaalisessa mediassa paljon enemmän, tilasivat mainosvideon kanavan ja päätyivät katselemaan muita videoita (41 prosenttia)

Mainosten pyörittämisen jälkeen huomattiin, että 360-videota oli katsottu 46 prosenttia tavallista videota enemmän, mikä johtui siitä, että sen katsojat olivat jakaneet sitä eteenpäin sosiaalisessa mediassa. Näin ollen 360-videomainoksen kulut yhtä katselua kohden tippuivat tavallista videota matalemmiksi, koska 360-video sai enemmän katsojia toisten katsojien jakamisen seurauksena, ei mainosverkoston kohdentamana. Toisaalta huomattiin, että käyttäjiä ei aina huvittanut käyttää uuden formaation interaktiomahdollisuuksia ja liikutella kameraa eri suuntiin ja tutkia videolla tapahtuvia asioita.

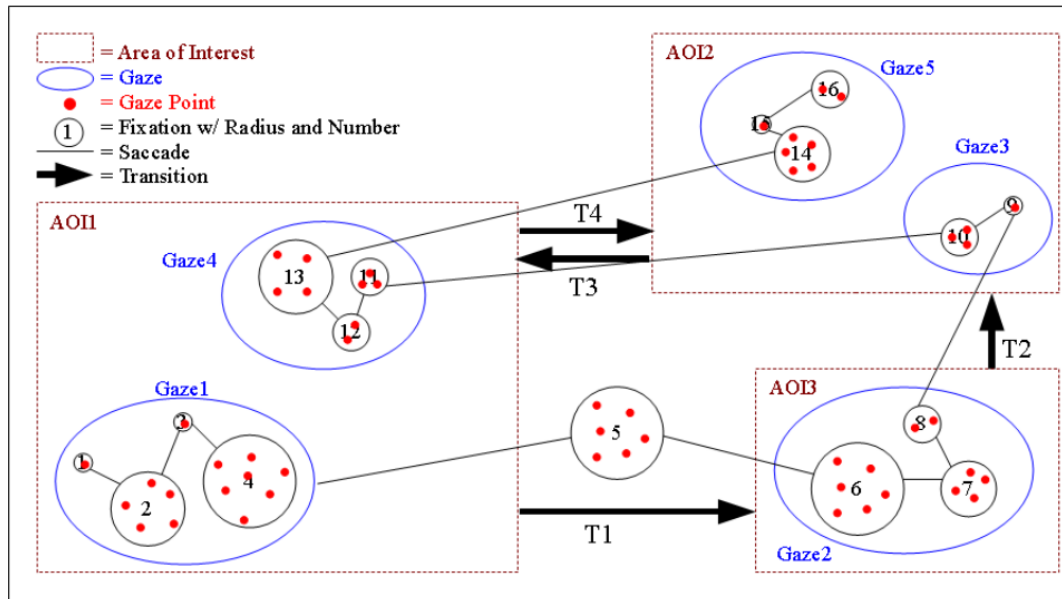


Kuva 3. *Habig (2016): 360-videomainos, jossa hiirellä liikuttamalla voi katsella eri suuntiin. Vasemmassa alakulmassa linkki, josta pääsee alkuperäiseen pitkään videoon. Videon alalaidassa keskellä 360-videoille ominainen musta läikkä, jossa ei näy videokuvaa. Läikän aiheuttaa usean kameran kuvan yhdistämisen haasteet ja yleisesti samassa paikassa sijaitsevan kuvaajan tai kuvauslaitteiston seisominen.*

2.3 Videoanalytiikka ja 360-videot

T. Blascheck & Ertl (2014) määritteli keskeisimmiksi käsitteiksi silmienseuranta-analytiikassa seuraavat oleelliset termit.

- Fiksaatio, tarkennus. Silmien katsomissuunnan aggregaatti, joka sisältää lyhyeltä ajanjaksolta, usein 200–300 millisekunnin ajalta, katsomispisteet. Ne jakautuvat usein 20–50 pikselin alueelle. Silmien liikkeistä nauhoitetusta raakadatasta voidaan laskea fiksaatioiden määrä, joka on usein käytetty tunnusluku. Myös fiksaatioiden pituudet ja koordinaatit tasossa.
- Sakkadi, silmien vetäisy. Sakkadi on ihmiskehon nopein liike, se tapahtuu keskittymisen siirtyessä fiksaatiosta toiseen useimmiten 30–80 millisekunnin aikana. Sakkadin tapahtumisen hetkellä näkökenttä ei ole terävä. Tyypillisiä avainlukuja ovat sakkadin amplitudi, kesto millisekunneissa ja nopeus asteina aikayksikköä kohden. Sakkadin amplitudilla kuvataan fiksaatiosta toiseen siirtymisessä kuljettua matkaa.
- Tasainen, sulava seuranta. Silmät keskittyvät dynaamisesti videolla liikkuvaan asiaan ja seuraavat sitä katsojan huomaamatta.
- Katselureitti, scanpath. Tapahtumasarja, joka koostuu vaihtuvista fiksaatioista ja sakkadeista. Katselureitistä saadaan useimmiten tietoa katselijan tavasta hakea jotakin näkemästään mediasta. Voidaan mitata katselureitin peittämällä alalla ja pituudella.

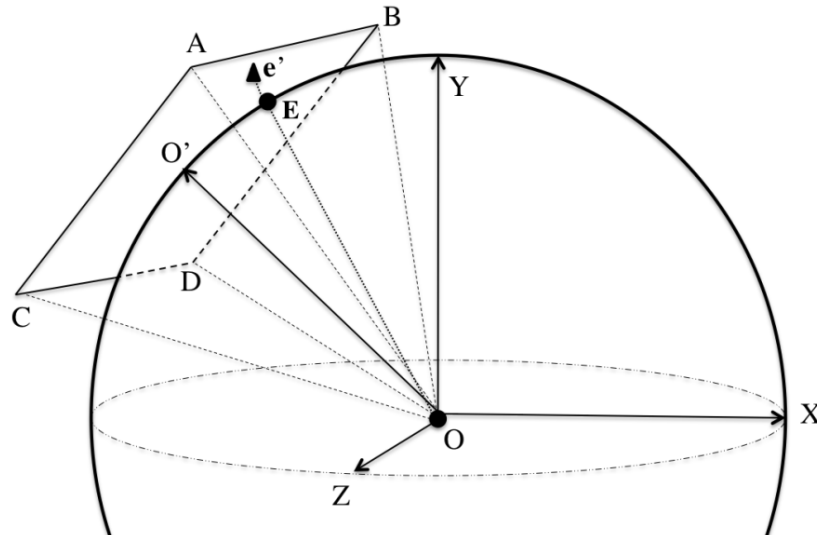


Kuva 4. T. Blascheck & Ertl (2014): keskeisimmät analytiikan käsitteet

- Ärsyke, stimulus. Mikä tahansa katsojalle näytetty media, jonka aikana silmien liikehdintää on nauhoitettu.
- Mielenkiintoalueet, area of interest (AOI). Jokin sellainen alue katsojan kokemassa ärsykkeessä, joka on muiden datasta kiinnostuneiden sidosryhmien kannalta merkityksellinen. Mielenkiintoalue voi olla esimerkiksi videolla näkyvä mainos. Mielenkiintoalueet pohjautuvat useimmiten ärsykkeen semanttiseen sisältöön.

Perinteisessä videoanalytiikassa pyritään vastaamaan kysymyksiin siitä, kuinka kauan käyttäjät jaksoivat katsoa jotakin videota ja mihin katseet kohdistuivat milläkin ajanhetkellä videon pyöriessä. Katseen voidaan ajatella muodostavan jälki videolla sen edetessä ja yhden katsojan yhtä katselukertaa voidaan kuvata katsojan katselujäljellä, joka tallettaa informaation käyttäjän katseen kiintopisteistä videon edetessä. Usean käyttäjän katsomajäljen nauhoittaminen ja kokoaminen aggregaatiksi mahdollistaa käyttäjien katselutottumusten tarkemman analysoinnin. Aggregaattia tarkasteltaessa voidaan havaita esimerkiksi katsojien katseiden kohdistuvan enemmän ruudulla näkyviin näyttelijöihin kuin taustalla pyöriviin maisemiin tai mahdollisesti päinvastoin: taustatapahtumat saattavat olla jollakin videolla yleisesti kiinnostavampia kuin näyttelijöiden roolisuoritukset. Nauhoitetuista katselujäljistä voidaan myös havaita, suhtautuuko katsoja eri tavalla erilaiseen tai erilaisella tavalla tuotettuun videomateriaaliin: onko katselujälki samanlainen usein tai harvoin kuvakulmaa ja kameraa vaihdettaessa, millaisessa tilanteessa katse keskittyy enemmän ympäristöön kuin kunkin kohtauksen tarkoitettuun keskipisteeseen, onko videon kirkkaudella merkitystä ja niin edelleen. Katselujälkien analysoinnilla voidaan havaita kaikenlaisia ilmiöitä katsojista ja erityisesti yhdistämällä se videotekijän ajatukseen katsojan oletetusta katselujäljestä voidaan löytää yllättäviäkin tuloksia.

Videoanalytiikka perustuu silmien liikehdinnän ja keskittymiskiintopisteiden seuraami-



Kuva 5. Matt Yu (2015): Esimerkki 360-videon katselusta sen keskipisteestä tapahtumien ulkoreunalle. Merkitty suorakaide kuvaa yhden katselijan näkemää kaistaletta ympäröivästä videosta.

seen, mikä on yleinen menetelmä myös käyttäjien käytöksen ja vuorovaikutuksen analysoimiseen markkinoinnissa, neurotieteissä, ihmisen ja tietokoneen välisessä vuorovaikutuksessa ja visualisaatiotutkimuksessa. Monien eri alojen tarpeiden vuoksi luonteeltaan samanlaista silmien liikehdintädataa voidaan analysoida useilla erilaisilla menetelmillä, kuten tilastoalgoritmeilla, editointietäisyysalgoritmeilla, visualisaatioilla ja visuaalisella analytiikalla. Näiden huomioiden lisäksi T. Blascheck & Ertl mielestä on myös tärkeää muistaa analysoinnin semanttinen puoli; ei pidä unohtaa, että kvantitatiivisten menetelmien, kuten silmien fiksaation, katselujakauman, sijainnin, sakkaadisen liikehdintän amplitudin ja pupillien koon analysoinnin lisäksi nauhoitetusta datasta voidaan myös löytää semanttisia merkityksiä, kun verrataan informaatiota katsotun median sisältöön. Erityisen merkitykselliseksi semanttinen sisältö nousee luonnollisesti videon tapauksessa juuri median oman luonteensa vuoksi, videollahan useimmiten näytetään ennalta suunniteltua ja tarkasti toteutettua tapahtumasarjaa (2014).

Tavalliselle, perinteiselle videolle tehtävä katselijanalyysi perustuu silmien keskittymispisteiden seuraamiseen eli sen informaation nauhoittamiseen, mitä spesifiä kohtaa yhden kuvaruudun aikana käyttäjä katsoi. Tämä menetelmä ei kuitenkaan sovi ympäröivän median käyttäjäanalyytikan pohjaksi. Ympäröivän median tapauksessa käyttäjän eli katsojan ja itse median välillä on täysin erilainen vuorovaikutussuhde kuin perinteisen videon kohdalla. Siinä missä tarinankertoja on tarkkaan valinnut, mitä perinteisessä mediassa milläkin ajanhetkellä videokuvaruudussa näytetään ja näin sidotaan jokaisen katsojan kokemus saman sisällön ympärille, ympäröivä media mahdollistaa jokaisen katsojan oman valinnan katsomissuunnasta ja tarinan seuraamisen tavasta. Ympäröivän median myötä ei ole riittävää seurata katseen kohdistumista videon katselun aikana, vaan on erittäin tärkeää myös nauhoittaa tieto siitä, missä suunnassa katseen kohdistus tapahtui eli minne katsoja

oli kohdistanut koko katselusuuntansa 360 asteen sisällä. Perinteisen videon analytiikassa siis ainoassa osassa on katsesuunta, mutta ympäröivän tapauksessa sen lisäksi on pään suunta.



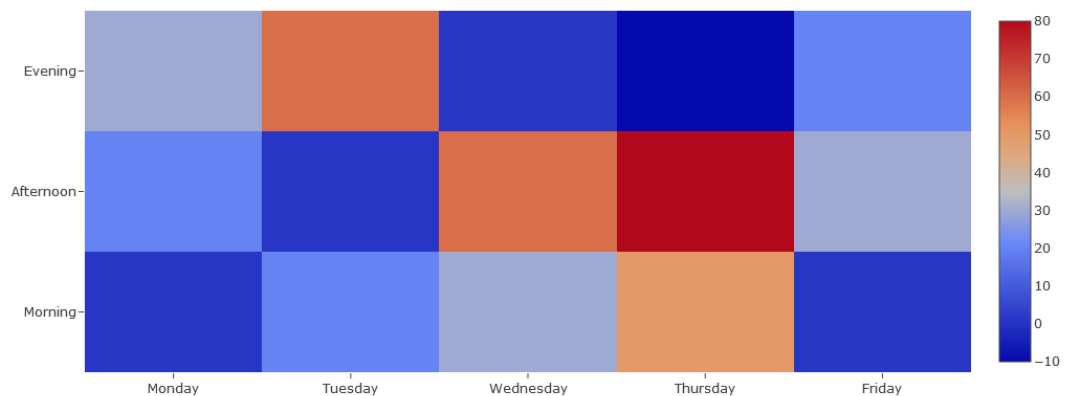
Kuva 6. Tasavälinen lieriöprojektio Facebookin 360-videotekniikan esittelystä

Ympäröivän median uutuuden ja vaatimattomamman levinneisyyden vuoksi sen katsojakäyttäytymisen analysointi ja kerätyn katsojastatistiikan visualisointimenetelmät eivät ole vielä niin vakiintuneita kuin perinteisellä videolla. (Thomas Lowe & Magnor 2015) nostaa 360-videoiden statistiikan analyysissä erityisesti esille yhtäaikaisen huomion keskittymisen kohdat ympäröivän videon aikana eli ne hetket, jolloin keskimääräistä suurempi osa katsojista on keskittynyt vapaaehtoisesti juuri samaan alueeseen ympäröivän videon sisällä. Erityisen mielenkiintoisena pidetään yhdistymis- ja haarautumiskohtia ympäröivän videon katselun aikana. Yhdistymiskohdat ovat niitä, joissa videon eri kuva-aloja katsovat käyttäjät ajautuvat katsomaan samaan suuntaan ja kuva-alat yhdistyvät liukumalla toistensa päälle. Haarautumiskohdat ovat vastaavasti niitä, joissa samaa kuva-aluetta tarkastelevat katsojat lähtevät katsomaan eri suuntiin ja kuva-alat haarautuvat eri suuntiin omilleen. Yhdistymiset ja haarautumiset ympäröivän videon katselun aikana ovat mitä todennäköisimmin niitä hetkiä, jolloin voidaan havaita katsojia kiinnostavia kohtia, mielenkiinnon keskittymistä ja hajautumista ja katseen vaeltelua. Näiden kohtien etsiminen käyttäjästatistiikasta ja vertaaminen tarinankertojan valintoihin ja olettamuksiin tuo uutta kuvakulmaa siihen, onko videosisällön tuottamisessa onnistuttu tai ovatko katsojat kokeneet materiaalin samalla tavalla kuin sen tuottajat.

Yksi perinteisen videon analysointimenetelmistä on ollut katsevaihteluiden eri mielenkiintoalueiden välillä. Mielenkiintoalueet (AOI, Areas of Interest) ovat erikseen käsityönä määriteltäviä kohtia videolla, joiden uskotaan kiinnostavan useita katsojia tai joista ainakin halutaan tietoa, kiinnitettiinpä niihin huomiota tai ei. Kohdat on merkitty videolle jollakin sopivalla menetelmällä käsityönä ja käytännössä ne kertovat jonkinlaiset koordinaatit kulakin ajanhetkellä näkyvän videon yksittäisen kuvan mielenkiintoalueista. Vaikka katseen

harhailun ja keskittymisen seuranta mielenkiintoalueiden suhteen onkin hyödyllistä, on manuaalinen kohteiden merkintäprosessi työläs ja aikaavievä. Tämä korostuu erityisesti ympäröivän median tapauksessa, jossa ihmiskatsojalle intuitionvastainen kuvan väärentymä hankaloittaa ja hidastaa kokonaiskuvan hahmotusta ja pisteiden merkintää; erityisesti mediankatsojan näkökentän puolelta toiselle liikkuvat mielenkiintoalueet ovat hankalia niiden siirtyessä takaraivon puolella projektiokuvan laidasta toiseen. Näiden ongelmien mainitsemisen lisäksi Thomas Lowe & Magnor huomauttaa vielä ympäröivän median perustavanlaatuisesta erosta perinteiseen mediaan: tarinankertojan on mahdollista sisällyttää useita eri puolilla katsojaa tapahtuvia tarinoita samalle videolle, mikä entisestään tekee merkintätyöstä raskaampaa. Thomas Lowe & Magnor kokeilujen perusteella mielenkiintoalueiden käyttö ympäröivän median analytiikassa ei ole toteutuskelpoinen menetelmä ennen kuin työkalut sitä varten ovat kehittyneet riittävästi (2015).

2.4 Visualisaatioiden käyttö

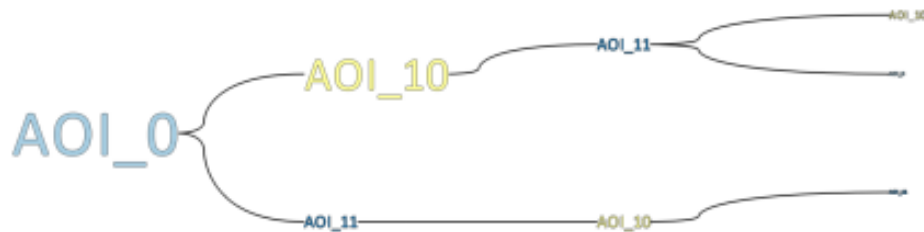


Kuva 7. Yksinkertainen lämpökarttavisualisaatio, jossa arkipäivien aamuille, päiville ja illoille on kuvattu jotkin vaihtelevat luvut

Edellisessä luvussa löydettiin yleisimpiä menetelmiä silmien seurannan analysointiin ja huomattiin, että vaikka katsomajäljistä talletettu informaatio onkin kvalitatiivista, on tilastollisten analysointimenetelmien lisäksi myös muita mahdollisuuksia. Yksi näistä menetelmistä on visualisaatiot, joiden avulla T. Blascheck & Ertl (2014) mukaan tutkijat voivat analysoida datan eri tasoja ja näkökulmia tutkivalla ja kvalitatiivisella tavalla, sillä visualisaatioiden avulla tutkijoiden on mahdollista löytää komplekseja riippuvuussuhteita datan sisältä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että visualisaatiot voivat tuoda esille selkeitä tilan ja ajan riippuvuussuhteita katseen liikehännän ja videon sisällön suhteen, joita ei muuten huomattaisi, jos analysointimenetelmät olisivat vain kvantitatiivisia ja perustuisivat numerojen tutkimiseen erilaisia algoritmeja käyttämällä. Visualisointimenetelmien avulla voidaan helposti etsiä erilaisia hypoteeseja datassa kuvattujen katselijoiden toimin-

nasta, jotka voidaan myöhemmin analysoida tarkemmin ja varmentaa käyttäen matemaattisia menetelmiä ja tilastoja. Voikin olla yksinkertaisempaa nähdä riippuvuussuhteita ja katsojien käyttäytymistyyliä tietyn videon tapauksessa käyttäen visualisaatioita kuin tulkitsemalla raakadataa, joka käyttäjistä on nauhoitettu. T. Blascheck & Ertl uskoo katseen-seurantamenetelmien kompleksisuuden kasvavan niiden käytön yleistyessä ja sovelluskohteiden moninaistuessa, minkä vuoksi visualisaatioilla tulee olemaan entistä suurempi merkitys tulevaisuudessa. Yksi uusista sovelluskohteista on luonnollisesti 360-videot ja virtuaalitodellisuuden tarjoamat erilaiset ympäröivän median uudet muodot (2014).

T. Blascheck & Ertl keräsi kokoon 90 artikkelia, joissa käsitellään erilaisia tapoja visualisoida katseenseurannalla kerättyä dataa. Erilaisia menetelmiä on tutkittu jo 1950-luvulla, mutta valtaosa artikkeleista on vuosilta 1995–2014 ja tutkimustahti on vain kiihtynyt viime vuosien aikana. Nämä eri tutkitut menetelmät luokiteltiin kolmeen pääkategoriaan, jotka ovat pisteperustaiset visualisointimenetelmät, mielenkiintoalueperustaiset visualisointimenetelmät ja molempia tekniikoita käyttävät menetelmät. Kategorioiden lisäksi artikkelit luokiteltiin niiden käyttämien visualisointimenetelmien perusteella riippuen käyttäjän nauhoituksen aikana katsomasta ja kokemasta materiaaliasta ja visualisaatiotyypistä. Visualisointityypeiksi löydettiin alkuperäisen materiaalin yhteydessä esitettävät visualisaatiot (in-context), animoidut visualisaatiot ja interaktiiviset visualisaatiot.

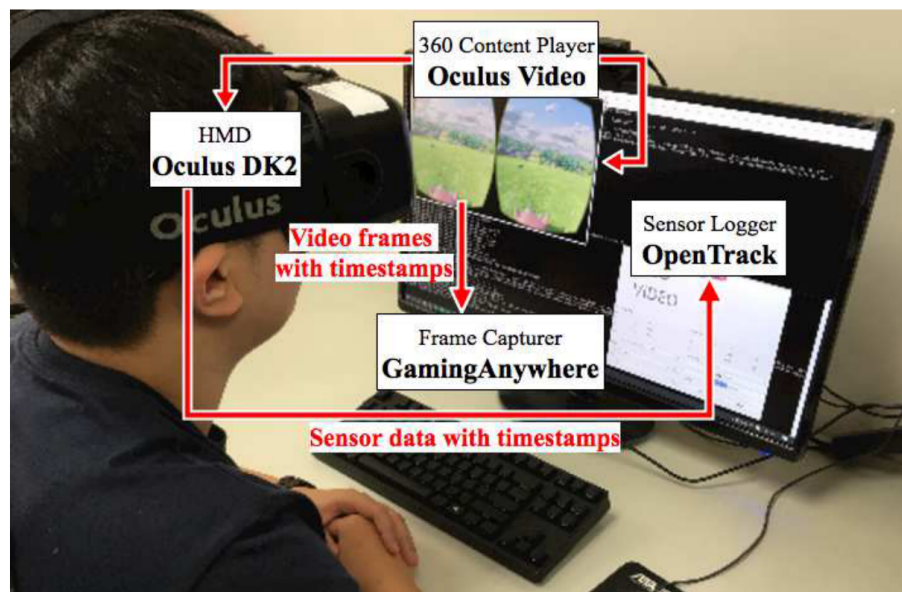


Kuva 8. Yksi AOI-visualisaatioista. Puumainen rakenne kuvaa eri peräkkäisten mielenkiinnonkohteiden ketjuja fonttikoon merkityksessä katselujen määrää. (T. Blascheck & Ertl 2014)

Yksi laajasti käytetyistä visuaalioista on heatmap eli lämpökartta. Lämpökartta kuvaa tiedon intensiteetin jakautumista kaksiulotteiselle alueelle. Intensiteetti voi vaihdella kaksiulotteisen alueen sisällä vapaasti ja lämpökartta esittää tämän vaihtelun voimakkuuseroja. Arkipäiväinen esimerkki lämpökartasta on maapallon kartta, jossa eri maat on väritytty väriskaalalla sinisestä punaiseen sinisen tarkoittaen pientä intensiteettiä ja punaisen suurta. Intensiteetit, joita maapallolle piirretty lämpökartta kuvaa, voivat olla esimerkiksi mitta-arvoja maiden kasviuonepäästöistä suhteutettuna maan kokoon. Kun lämpökartta piirretään, kaikista suurimmat arvot eli maat, joilla on eniten kasviuonepäästöjä, väritetään punaisiksi ja vastaavasti pienimmät sinisiksi. Lämpökarttaa käytetään useimmiten havainnollistamaan juuri tällaisten arvojen eroja ja sen tarjoamaa väritysinformaatiota

käytetään jo olemassa olevien kuvien päälle piirtämiseen. Näin lämpökartta pystyy yksinkertaisesti visualisoimaan useita kaksiulotteiselle alueelle levittäytyviä datapisteitä. Cornelius Köpp korostaa lämpökarttojen hyödyllisyyttä: lämpökartta kokoaa tiedon yhteen, mutta säilyttää samalla sen perusolemuksen ja visuaalisesti helpottaa tuloksen tutkimista. Lämpökarttojen visuaalinen ilme myös paljastaa analysoitavan datan koko kirjon eikä piilota tulosta muutaman avainnumeron taakse, jotka saattavat helposti olla vääriä tai tulokinnanvaraisia; lämpökartasta on yksinkertaista nähdä, kertooko visualisoitu data jotakin lämpöpiikkeinä vai onko se jakautunut tasaisesti kaikkialle (2014).

2.5 Datasetit



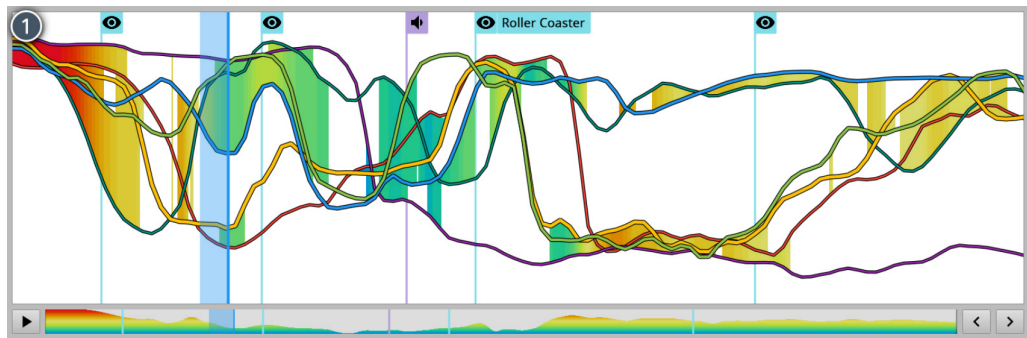
Kuva 9. Xavier Corbillon (2017) datasetin keräysjärjestelyjen kuvaus

Tässä työssä on käytetty Xavier Corbillon (2017) julkaisemaa avointa datasettiä ja sen mukana avoimesti jakeluun laitettuja ohjelmistoja. Datasetti kuvaa 59 käyttäjän 360-videoiden katselujen lokitiedot seitsemän videon osalta. Datasetti sisältää jokaista videon kuvaa eli framea kuvaavan statistiikan ja lisätietoja, kuten sukupuolen ja iän, kustakin katsojasta. Datan perusteella on myös luotu YouTubeissa jaeltuja lämpökarttavisualisaatioita, joita esitellään luvussa 2.6.4 tarkemmin. Datasetistä käytettiin itse käyttäjästatistiikan lisäksi myös avointa ohjelmakoodia erilaisten 360-videoiden ja tasavälisen lieriöprojektion välillä siirtymiseen.

Datasetti kerättiin Oculus DK2 -virtuaalilaseja käyttämällä kontrolloiduissa olosuhteissa, joissa käyttäjille ensin opetettiin lasien ja videoiden katsomisen käyttö. Virtuaalilasit olivat yhteydessä tietokoneeseen, jolla lokitettiin varta vasten statistiikan keräystä varten kirjoitetulla ohjelmalla tiedot katselusessioista. Datasetin tekijät loivat myös visualisaatioita ohjelmalla, jonka lähdekoodi julkaistiin kaiken muun mukana, jotta halukkaat voivat vastaavalla järjestelyllä laajentaa datasettiä.

2.6 360-videoiden visualisointiratkaisut

2.6.1 Liittymät ja haarautumat

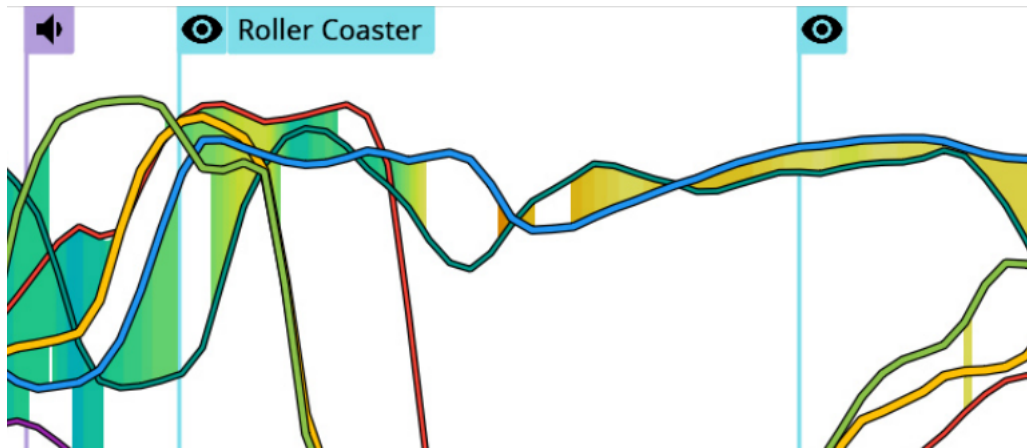


Kuva 10. Thomas Lowe & Magnor (2015) View Similarity -visualisaatio

Thomas Lowe & Magnor (2015) kehittivät kolme erilaista visualisaatiota 360-videoiden katselusta kerätyn raakadatan esittämiseen. Kaikki kolme visualisaatiota on tarkoitettu käytettäväksi vieri vieressä alkuperäisen videomateriaalin kanssa niin että tarkastelija näkee sekä visualisaation että 360-videon ja voi hyppiä videon eri kohtiin liu'utina käyttäen.

Tärkeimpänä ja onnistuneimpana kirjoittajat pitivät view similarity eli näkymän läheisyys visualisaatiota, josta on kuva yllä. Näkymän läheisyys näyttää katsojien katselusuuntien kulmien läheisyyden ajan funktiona. Siinä aika liikkuu vaaka-akselilla ja pystyakselilla kuvataan pään asento eli videon katselukulma. Vaakasunnassa liikkuvat eri väriset käyrät kuvaavat kukin yksittäistä katsojaa. Visualisaatio esittää selkeällä näkymällä, miten eri katsojat keskittyvät ympäröivän videon eri suuntiin pian sen alkamisen jälkeen, mutta kääntyvät nopeasti samaan suuntaan. Käytetystä videosta ilmenee, että katsojat kiinnittivät huomiota kahteen veneilijään, jotka tippuvat veteen. Visualisaation avulla dataa analysoivan tutkijan on yksinkertaista nähdä aikajanamuodossa ne kohdat, joissa katsojien mielenkiinnon muuttumisen seurauksena näkymät liittyvät ja haarautuvat – eli kohdat, joissa katsojat katsovat samaan suuntaan ja näkymät menevät päällekkäin. Näitä kohtia tekijät kutsuvat liittymä- (join) ja haarautumakohdiksi (branch).

Pelkkien käyrien visuaalisen tarkastelun lisäksi näkymän läheisyyteen on lisätty koko videon pituuden mittainen vaakasuntainen aaltohistogrammi, jossa katselusuuntien samantaisuus muuttuu ajan funktiona. Se löytyy kuvan [xx] alalaidasta ja sitä käyttämällä voi myös siirtyä videon eri kohtiin. Samanlaisuutta kuvataan samanlaisuusmitalla, joka kuvaa ajanhetkien katsomissuuntien potentiaalista relevanssia eli sitä, miten paljon katsojat ovat katsoneet samaan suuntaan. Samanlaisuusmitta on määritelty laskemalla katsomissuuntien etäisyyksien summa, jossa pienempi arvo tarkoittaa katselusuuntien keskittymistä lähemmäksi toisiaan. Toisiaan lähellä olevat katselusuunnat ovat siis klusteroituneempia ja niin laadukkaampia samanlaisuusmitalla, sillä näiltä ajanhetkiltä todennäköisesti löytyy jotakin mielenkiintoista, miksi muuten katsojat olisivat keskittäneet huomionsa samaan suuntaan.

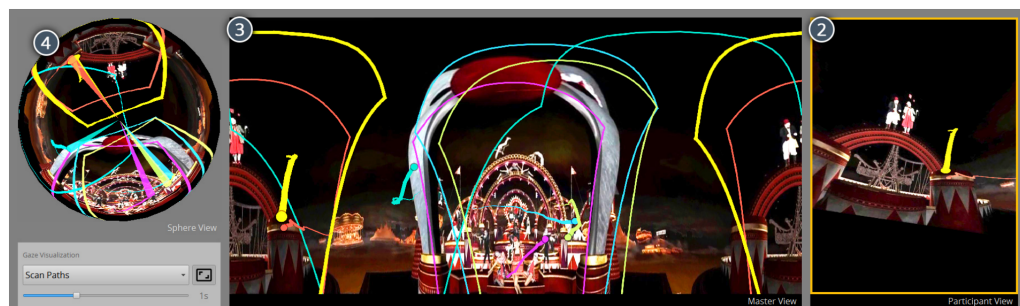


Kuva 11. Thomas Lowe & Magnor (2015) View Similarity, tarkennus

Samanaikaisten keskittymisten löytämisen helpottamiseksi visualisaatioon myös lisätty katsojien katselusuuntia kuvaavien käyrien klusteroiva väritys. Klusterissa korostetaan samansuuntaisuutta värittämällä käyrien välinen pinta-ala siinä tapauksessa, että käyrät ovat jonkin mielivaltaisen arvon etäisyydellä toisistaan. Tätä arvoa käyttäjä voi säätää halutesaan ja niin nähdä helpommin ja nopeammin kohdat, joista mahdollisesti löytyy jotakin mielenkiintoista. Thomas Lowe & Magnor (2015) löysi kokeellisesti toimivaksi arvoksi kolmanneksen näkökentän leveydestä.

Näkymän läheisyyden viimeinen toiminnallisuus on tiettyjen ajanhetkien merkintä. Käyttäjä voi halutessaan lisätä visuaalisaatioon merkintöjä niihin kohtiin, jotka kokee tärkeiksi. Merkinnän lisäämisen jälkeen ne näkyvät vertikaalisina viivoina, joiden yläpäähän on yhdistetty pieni ikoni ja mahdollisesti tapahtumaa kuvaava teksti.

2.6.2 Katsojan näkymät, yleisnäkymät



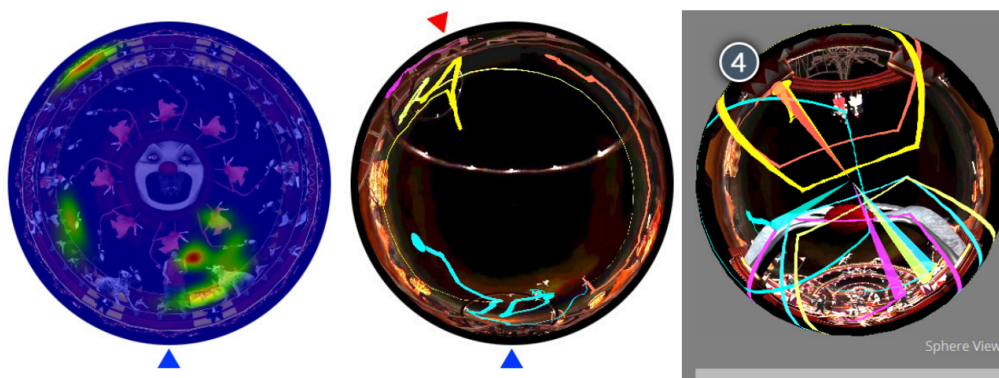
Kuva 12. Katsojien näkymät, yleisnäkymät (Thomas Lowe & Magnor 2015)

Thomas Lowe & Magnor (2015) päävisualisaatio luvussa 2.6.1 havainnollisti katselijoiden katselusuuntia horisontaalisella aikajanalla käyrinä, josta pystyi suuren datasetin tapauksessa nopeasti löytämään kohdat, joissa esiintyi hetkellistä synkronisuutta, yhdistymisiä ja haarautumisia. Visualisaatio ei kuitenkaan näyttänyt alkuperäistä videokuvaa ollenkaan.

Yksi katseludatan visualisointiluokka on visualisaatiot, jotka piirretään alkuperäisen videomateriaalin päälle tai yhteyteen. Thomas Lowe & Magnor (2015) toteutti kuvassa 12 kaksi visualisaatiota, vasemmalla ja keskellä, ja yhden katsojan näkymän. Katsojan näkymän tarkoituksena on vain näyttää tarkasteltavan katsojan kokema näkymä. Näkymän tarkoituksena on korostaa katsojalle oikeasti näytettyä sisältöä, sillä pelkän näkymän läheisyyden käyrien tai kahden muun vieressä olevan yleisnäkymän perusteella dataa tutkiva henkilö voi saada väärän käsityksen siitä, miltä jokin dataan tallennetuista katseluista näytti. Katsojan näkymässä näytettävää katsojaa voidaan vaihtaa lennosta johonkin toiseen katsojaan.

Kuvan 12 keskimmaisessa yleisnäkymässä näytetään alkuperäisen 360-videon tasavälisen lieriöprojektion formaatissa olevaa videota. Videon päälle on piirretty kunkin dataan talletetun katsomajäljen ääriviivat. Ääriviivat siis kuvaavat sitä, mitä kukin katsoja on katsonut. Eri katsojat on eroteltu katsojien omilla väreillä, jotka pysyvät samoina sekä viereisissä näkymissä että näkymän läheisyys -visualisaatiossa. Katsojille näytettyjen näkymien ääriviivat ovat käyrät ja venyneet tasavälisen lieriöprojektion aiheuttaman vääristymän vuoksi. Kuvan oikeassa ja vasemmassa laidassa näkyvä keltainen ääriviiva kuvaa katsojan näkymässä näkyvän näkymän ääriviivoja, kyseessä on siis sama katsoja samalla ajanhetkellä. 360-videon luonteen vuoksi yleisnäkymän tulkinta on hankalaa myös sen reunojen yhdistymisen vuoksi: koska videokuva näyttää suorakaiteen muotoiselta, on katsojan aivojen todella vaikea ymmärtää, että vasen ja oikea laita videosta ovat oikeasti toisissaan kiinni ja sellainen näkymä, joka alkaa oikeasta laidasta, mutta ei mahdu kokonaan kuvaruutuun, jatkuu suorakaiteen muotoisen videon vasemmassa laidassa.

2.6.3 Palloprojektionäkymät



Kuva 13. Palloprojektionäkymät (Thomas Lowe & Magnor 2015)

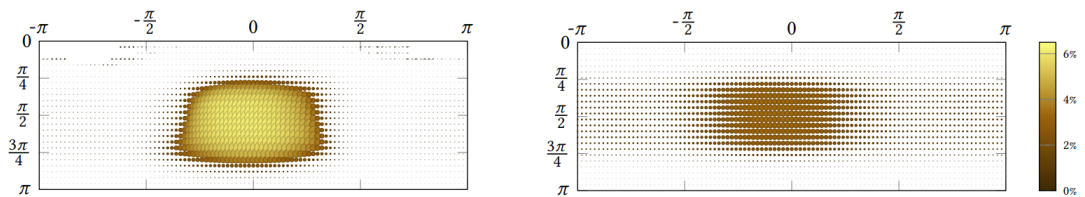
Palloprojektionäkymässä Thomas Lowe & Magnor (2015) projisoi ympäröivän 360-videon pallon sisälle. Pallon keskellä näkyy ympäröivän videon yläosa eli taivas; se, mikä on suoraan katsojan pääläen yläpuolella. Pallon laidoilla taas näkyvät ympäröivän videon tavalisimmat katselusuunnat eli vaakatasonäkymä.

Kuvan 13 kolme eri visualisaatiota:

- Vasemmanpuolimmaisimmassa pallossa on käytetty palloprojektiota, jonka päälle on muodostettu lämpökarttavisualisaatio katsojien katselujälkien yhtenemiskohdistusta. Lämpökartan avulla visualisaatiota tutkiva henkilö näkee nopeasti, mitkä ovat olleet yhteisiä kiinnostuksenkohteita, jos sellaisia on ollut.
- Keskimmäisessä pallorokjektiossa visualisaatio näyttää katsojien katselureitit (scan-path).
- Oikeanpuolimmaisimmassa palloprojektiossa videon päälle on piirretty eri katsojien kokemien näkymien ääriviivat. Palloprojekzio siis näyttää samaa informaatiota kuin kuvan 12 vasemmanpuoleinen visualisaatio. Palloprojektion hyöty verrattuna tasaväliseen lieriöprojektiioon on siinä, että pallosta erottaa paremmin katselusuunnat ja niiden jakautumisen. Tämä on seurausta lieriöprojektion vasemman ja oikean laidan jatkuman hahmottamisen hankaluudesta.

Ensimmäisessä ja toisessa pallovisualisaatiossa on myös lisätty pienet kolmiot osoittamaan eri katselusuuntia. Sininen kolmio tarkoittaa videon ohjaajan tarkoittamaa, suosittelemaa katselusuuntaa. Toisen pallon punainen kolmio puolestaan tarkoittaa analysoijan käsin lisäämää tietoa jostakin videolla tapahtuvasta asiasta (tässä tapauksessa: missä on vuoristoradan vaunun nokka). Kolmioiden avulla analysoija saa paremman hahmotuksen videon kontekstista ja pystyy nopeammin ymmärtämään, kertovatko visualisaation näyttämät arvot jotakin arvokasta (katselivatko kaikki käyttäjät aivan muualle kuin minne tekijä oli tarkoittanut, eikö katsojia kiinnostanutkaan suunnittelijasta ilmiselvästi kaikista mielenkiintoisin asia, jakautuivatko katsojat kahteen samanlaisiin asioihin keskittyviin ryhmiin jne.).

2.6.4 Pikselitodennäköisyyslämpökartat

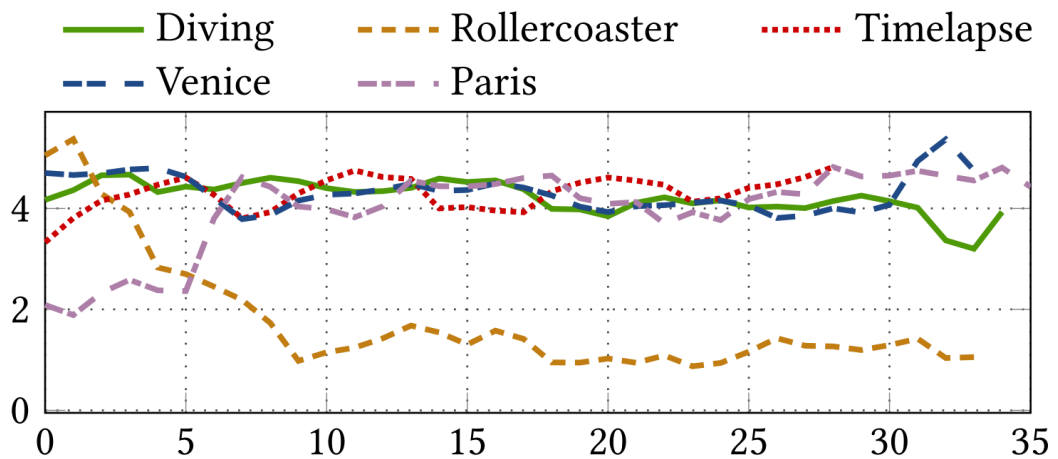


Kuva 14. Kunkin pikselin näkymistodennäköisyydet Xavier Corbillon (2017)

Xavier Corbillon laski virtuaalilaseilla katsottujen 360-videoiden katselujälkien perusteella todennäköisyydet eri pikselien esiintymiselle katsojan näkymässä (2017). Kuvassa 14 on kahden sisällöltään hyvin erilaisen videon pikselitodennäköisyydet, joista on muodostettu lämpökartat. Lämpökarttojen vaaka-akselit kuvaavat pään sivuttaissuuntaista käänteilyä ja pystyakselit pystysuuntaista. Vasemmanpuoleisen lämpökartan lähdevideo oli kuvattu vuoristoradan vaunusta, kun taas oikeanpuoleinen lämpökartta muodostettiin jaksottaisesta kuvavideosta (timelapse). Lämpökarttojen perusteella nähdään suoraan, että vuoristoradan intensiivinen lähdemateriaali keskitti suurimman osan katsojista yhteen suuntaan kuvavideon katselun jakautuessa hieman tasaisemmin.

2.6.5 Perinteiset janakaaviot

Valtaosa perinteisistä diagrammeista, kuten janakaavioista, histogrammeista, pistehajontakuvioista, eivät tutkitun materiaalin perusteella sovellu kovin hyvin kuvaamaan videoiden ja käyttäjien kokemusten ja katsontatapojen erilaisuuksia suhteessa aikaan, mutta toisten videoiden katselujälkien analyysien vertailuun esimerkiksi janakaavio saattaa sopia:



Kuva 15. Katselusuuntien etäisyyden mediaanit ajan funktiona. Jokainen jana kuvastaa yhden videon mediaania. Xavier Corbillion (2017)[todo]

Kuvassa 15 näkyy Xavier Corbillion (2017) -datasetin eri videoiden katsomaetäisyyksien mediaanit ajan funktiona. Kuvasta voidaan siis tulkita, miten paljon katsojat käyttivät aikaansa keskittyen verrattain samasta suunnasta 360-videon sisältä löytyviin katselusuuntiin ja kuinka paljon joihinkin aivan muihin.

3. TULOKSET

3.1 Käyttäjätatistiikan kerääminen

Käyttäjätatistiikan keräämisen toteutus on jaoteltu kolmeen seuraavaan lukuun, joissa ensin kerrotaan, millaista dataa kerätään, sitten katsotaan käytettyjen alustojen rajoitteita ja lopuksi kuvataan lokituspalvelin, joka on vastuussa kerätyn datan varastoinnista.

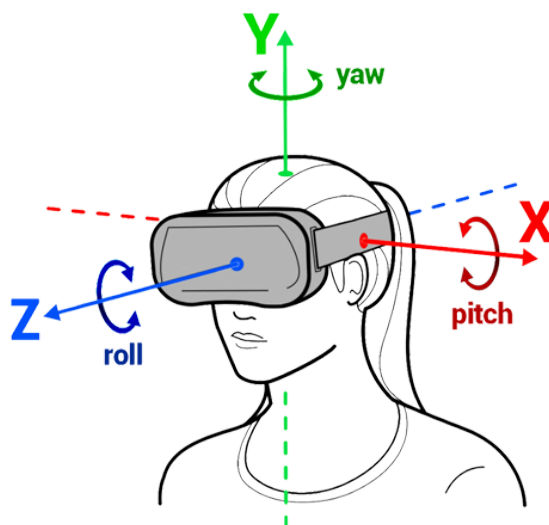
3.1.1 Millaista dataa kerätään

Kun puhutaan 360-videoiden käyttäjätatistiikan keräämisestä, seuraavat asiat on huomioitava yksittäistä videonkatselusessiota tutkittaessa:

- Mitä videota on katsottu
- Videon tekniset tiedot
- Miten pitkä video on
- Mitkä kohdat videosta on katsottu
- Minne videon katsomisen aikana 360-maailmassa on katsottu

Näiden perustietojen avulla voidaan jälkikäteen analysoida katsojan kokemusta ja vertailla sitä muihin saman videon katsoneisiin käyttäjiin. Listan ehdottomasti tärkeimmät kolme kohtaa ovat ensimmäinen ja kaksi viimeistä. Jotta käyttäjän katselusessio voidaan yhdistää muihin, on tietysti oltava varmoja siitä, mitä videota on katsottu. Kun tiedetään, mitä video on katsottu, on toiseksi tärkeintä tietää, minkä verran tuota kyseistä videota on katsottu. Toisin sanoen: onko video katsottu alusta loppuun, alusta johonkin ajanhetkeen X asti vai esimerkiksi onko videosta katsottu muutamia pätkiä sieltä täältä. Teknisestä toteutuksesta järjestelmän kokonaiskuvan ymmärtämisen kannalta on helpointa keskittyä kokonaisuun videonkatselukertoihin, joissa käyttäjät ovat aloittaneet videon alusta katso-neet sen loppuun asti, mutta reaali-maailman järjestelmissä ja käyttäjäinteraktioissa näin käy todennäköisesti harvemmin.

Kolmanneksi tärkeimpänä kerättävänä katselun luonnetta kuvaavana tietona on listan viimeinen kohta eli se, minne videon etenemisen aikana on katsottu. Datavirrassa on oltava näkyvissä tieto katselijan kunkin ajanhetken pää- asemoinnista eli käytännössä jaw ja pitch, pää- suuntauksen katselukulmien horisontaali- ja vertikaalipoikkeamat videon alkusuunnasta. Videon alkusuuntaa pidetään näiden arvojen tarkastelun suhteen useimmiten nollana. Koska katselusuuntauma on kaikista kuvaavin datayksikkö kerätystä kokonaisuudessa, on järjestelmästä ja kerätyn datan lopullisesta käyttökohteesta riippuen



Kuva 16. Katsojan näkökulmasta eri suunta-akselit, joiden suhteen videon katseluun voi itse vaikuttaa (Dupin 2017)

mietittävä tarkkaan, millaisella aikaresoluutiolla tilastoa kerätään; onko riittävää tallettaa katselukulmat 100, 200, 500 vai 1000 millisekunnin välein vai onko välttämätöntä valittava vieläkin pienempi tarkkuus, kuten jokaisella videokuvalla, framella, eli noin 43 millisekunnin välein (tavallisessa videossa on useimmiten 23 kuvaa sekuntia kohden, mutta esimerkiksi urheiluvideoissa ja hienoimmilla laitteilla kuvatuissa moderneissa videoissa ruudunpäivitysnopeus voi olla 60 kuvaa sekuntia kohden).

Näiden teknisten, itse videonkatselusessiota kuvaavien tietojen lisäksi voidaan ehdottomasti samaan datasäilöön kerätä muita tietoja, joita katselun tarjoava järjestelmä mahdollisesti tietää:

- Katsojan sukupuoli
- Katsojan ikä
- Katsojan 360-videoiden katselukerrat
- Mitä tahansa muuta katsojasta itsestään kertovaa dataa

Tämän katsojan luonnetta kuvaavan datamäärän tarpeellisuus ei toki ole välttämätön kaikista yksinkertaisimpia visualisaatioita tehdessä, mutta mahdollistaa kuitenkin aivan uudenlaisia ulottuvuuksia sekä numeerisia tuloksia tuottaviin analyysihin että visualisatioihin. Visualisaatioita voitaisiin generoida erikseen eri ikäryhmille, sukupuolille ja muuten eroaville, mielenkiintoisille katsojaryhmille. Listan kolmas kohta on syytä pistää merkille: koska ympäröivän median maailma on aivan uudennainen ja monelle tuiki tuntematon, on syytä pitää huoli, että analysoitavassa datasetissä ei ole aloittelijoita merkittävää määrää ellei nimenomaisesti haluta tietoa aloittelijoiden katselutottumuksista. Videon katseluympäristön aiheuttaman elämyksen vuoksi ensimmäisiä ympäröiviä videoita

katsova käyttäjä voi käyttäytyä kovin eri tavalla kuin tottunut kuluttaja. Tämän vuoksi Xavier Corbillon (2017) näytti katsojille testivideoita ennen varsinaisia mittaustuloksia.

3.1.2 Katseluympäristön rajoitteet ja datan varsinainen keräys

Koska ympäröivän median 360-videoita voidaan katsoa erilaisissa ympäristöissä, aiheuttavat ympäristöjen omat rajoitteet rajoitteita myös katselusessioista kerättävälle datalle. Videoita katsotaan eniten Internet-selaimen videosoittimilla, jotka on upotettu esimerkiksi Facebookin tai YouTubeen kaltaisiin palveluihin. Näitä videosoittimia käytettäessä käyttäjän on mahdollista avata soitin koko näytön tilaan ja olla median kanssa interaktiivisessa yhteydessä joko kosketuksella tai hiiren painikkeilla. Toiseksi eniten videoita katsotaan VR-laseilla, joissa interaktio tapahtuu päätä kääntämällä. Kaikki yksinkertaisimmatkin videontoistoa tarjoavat alustat mahdollistavat aikayksikköä kohden tapahtuvan pään asentoa kuvaavan informaation keräämisen (jaw ja pitch), mutta osa palveluista tarjoaa vielä enemmän tietoa. Useimmat VR-laseista antavat suoraan tiedon rollista eli katselukulman kiertoliikkeestä Z-akselin suhteen, mutta esimerkiksi kaikki natiivit iOS- ja Android-sovellukset eivät anna. Pienimmäksi yhteiseksi nimittäväksi tekijäksi muodostuu, siis, jaw ja pitch ajan suhteen.

Silmien tarkkailua tarjoaa vain harvat VR-lasit ja ne ovat useimmiten todella kalliita verrattuna yksinkertaisempiin virtuaalilaseihin. Tulevaisuudessa silmien tarkkailu löytää toivottavasti tiensä myös halvimpiin laitteisiin, mutta erittäin todennäköisesti ei kuitenkaan koskaan laajamittaisesti suoraan webselainten ja natiivisovellusten videosoittimiin. Selainpohjainen silmientarkkailu olisi todennäköisesti myös ellei tietoturvariski niin ainakin perin epäilyttävää katselijan yksityisyydensuojan kannalta, jos tarkkailutoiminnallisuutta päästäisiin jotenkin väärinkäyttämään.

Näiden rajoitteiden valossa päädyttiin keräämään tietoa jaw'sta ja pitchistä aikayksikköä kohden. Keräyksessä käytettiin kahta eri videotoistinta:

- Googlen kehittämä VR View for Web -toistin, joka toimii Internetselaimessa JavaScriptin ja HTML5:n avulla
- TTY:n tietotekniikan laitoksen tohtorikoulutettava Antti Luodon kehittämää Javalla kirjoitettua natiivia Android-sovellusta, joka käytti Googlen VR SDK for Androidia

Googlen VR View -kirjastoa laajennettiin niin, että se alkoi pitää kirjaa käyttäjän interaktioista videon katselusuuntauksen suhteen ja lähettämään niitä tietoja lokituspalvelimelle. VR View -kirjasto itsessään on rakennettu Three.js:n päälle. Three.js on laajasti käytetty ja tunnetuin 3D-kirjasto Internet-selaimia varten. Se on kehitetty JavaScriptillä ja käyttää hyödykseen selaimen natiiveja rajapintapalveluita. VR View'ltä kysyttiin katselijan katselusuuntaa lyhyin väliajoin ja lähetettiin palvelimelle yksinkertaisessa JSON-formaatissa

Koska VR View for Web on tarkoitettu nimenomaan webselainten käyttöön ja siis upotettavaksi nettisivuille, sen tehokkuusrajoitukset tulevat suoraan sen käyttöympäristöstä.

Webselainarkkitehtuuri ja sen ohjelmointikielen JavaScriptin suoritusympäristö on luonteeltaan yksisäikeistä ja näin ollen raskaiden, kauan aikaa vievien operaatioiden suhteen blokkavaa, joka tarkoittaa sitä, että webselaimessa kaikki jumiutuu, jos jonkin työn tekemiseen kuluu liikaa aikaa. Tämän seurauksena sopivaksi aikaresoluutioksi eli jaw, pitch, aikaleima -kolmikkojen keräystiheydeksi osoittautui selaimien tukemien HTML5-videorajapintojen timeupdate-mekanismien oma dynaamisesti muuttuva tapahtumanilmaisin (event emitter). Videolle voidaan kertoa rajapinnan kautta, että tietty funktiota tulee kutsua aina, kun uusi tieto videon tenemisajasta on saatavilla; luonnollisesti tällaiseen rajapintaan yhdistettiin funktio, joka kerää tiedon datassa tarvittavista muuttujista. Näin ollen videon pyöriessä selain itsenäisesti kutsui uuden aikainformaation saataville tullessa datankeräysfunktioita. Toinen, ei niin tehokas ja mahdollisesti käyttöliittymän blokkava ja jumiuttava tapa olisi ollut kysyä videon aikatieidot ja muuttujat imperatiivisesti ja jatkuvasti tasaisin väliajoin videon katselun edetessä. Tämä logiikka perustuu siihen, että timeupdate-tapahtumankäsittelijää luvataan kutsua 4Hz–66Hz taajuudella eli useimmiten 15 millisekunnin välein, mutta harvimmillaan kuitenkin 250 millisekunnin välein. Selain on itse vastuussa kutsumisesta ja ajoittaa kutsumistiheyden selaimen kuormituksen suhteen; jos siis muiden skriptien ja muiden ohjelmien kuormitus on kova, timeupdate suoritetaan harvemmin ja jos kuormitusta ei ole kuin nimeksi, suoritus on todella tiheää.

Antti Luodon kehittämään 360-videotoistinsovellukseen lisättiin toiminnallisuus, joka lähetti kutakin videon näytettyä framea vastaavan katselusuuntatiedon lokituspalvelimelle. Toiminnallisuus toteutettiin käyttäen Googlen VR-kirjaston tarjoamia rajapintapalveluita. Tiedot lähetettiin yksinkertaisessa JSON-formaatissa verkon yli suoraan Android-puhelimesta sovelluksen pyöriessä ja näyttäessä videota.

Antti Luodon tutkimuspapereita "Towards Framework for Choosing 360-degree Video SDK"(2017) varten lokituspalvelimelle toteutettiin yksittäisen katseluseSSION talletetut tiedot tarjoava rajapinta. Rajapintaa hyväksi käyttämällä Android-sovellukseen toteutettiin toiminto, joka visualisoi toisen jonkin aiemmin tapahtuneen katselukerran saman 360-videon päällä. Tämän toiminnallisuuden avulla pystyttiin ensin nauhoittamaan tieto siitä, mitä käyttäjä katseli videon pyöriessä, ja sen jälkeen toistamaan katselukerta uudelleen näyttäen visuaalisesti videon päällä tietoa aiemmasta katselusta. Aiemman katselusuunnan visualisointi toteutettiin yksinkertaisina laatikoina. Sovellukseen toteutettiin myös monia muita ominaisuuksia, jotka mm. näyttivät videon päällä huomiolaatikoita liittyen videon semanttiseen sisältöön. Tämä tieto oli analysoitu erillisellä algoritmilla.

3.1.3 Lokituspalvelin

Lokituspalvelimen tarkoituksena käyttäjästatistiikan keräämisen ja visualisointien luomisen suhteen on:

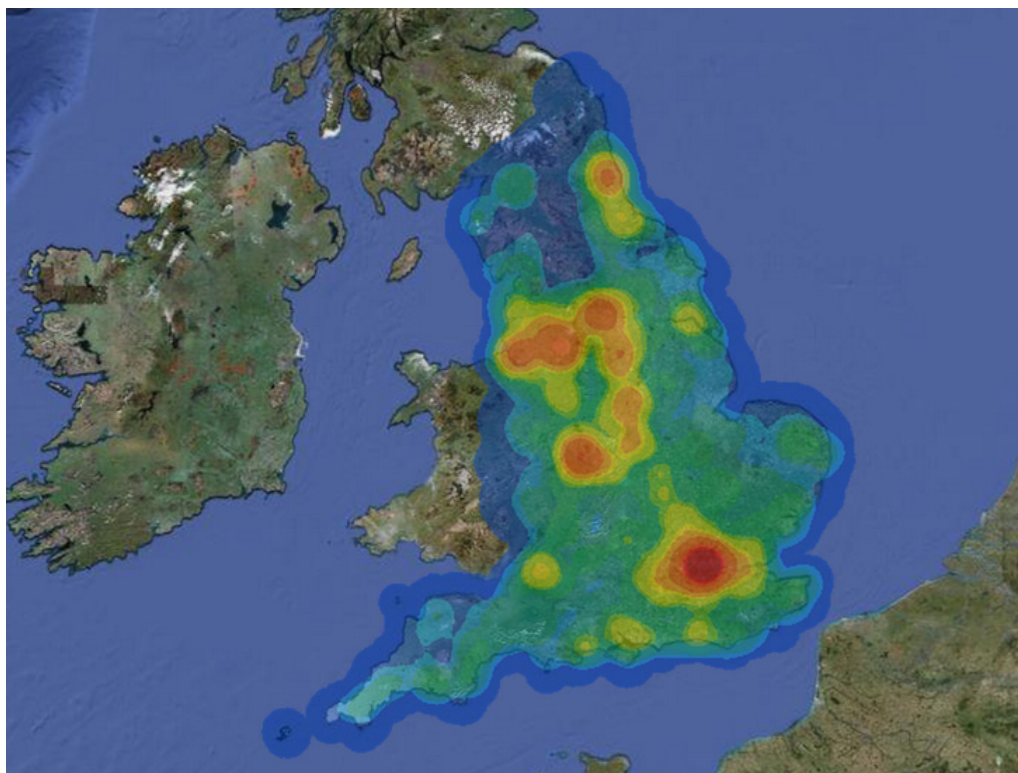
- Vastaa suuria määriä dataa

- Tallettaa data sopivalla tavalla sopivaan tietokantaan tai muuhun tietovarastoon
- Mahdollistaa erilaiset haut dataan
- Tarjota erilaiset rajapinnat, joiden avulla dataa voi käsitellä jälkikäteen

Koska tarkoituksena ei ollut pääasiallisesti tutkia lokituspalvelimen toimintaa, se toteutettiin tutuilla tekniikoilla ja mahdollisimman yksinkertaisesti. Palvelinteknologiaksi valittiin NodeJS, joka asynkronisen event loopiin perustuvan suorituksensa vuoksi soveltuu verrattain hyvin lukuisten samanaikaisten käyttäjien lähettämien lokitietojen vastaanottamiseen ja useiden yhteyksien hallitsemiseen. NodeJS-palvelin kytkettiin PostgreSQL-relaatiotietokantaan. Näistä molemmat valittiin tuttuuden, keskinäisen yhteensopivuuden kirjastojen avulla ja kattavien materiaalien vuoksi.

Tietokannan skeemaksi valittiin yksinkertainen videot ja videoihin liittyvät katselukerrat kuvaava malli. Yhden katselukerran talletetut tiedot sijoitettiin katselukerraa uniikilla id:llä viittaavaan tauluun, johon talletettiin myös muuta metatietoa katselukerrasta, kuten sen aika, pituus, videon resoluutio yms. Tätä videonkatselukerta-id:tä vastasi taas toiseen tauluun talletetut jaw, pitch, aikaleima -kolmikot.

3.2 Visualisointien luominen



Kuva 17. Englannin energiankulutusta kuvaava lämpökartta (Michel 2012)

Eri visualisointivaihtoehtoja tutkittaessa päädyttiin toteuttamaan selaimessa interaktiivisesti toimiva lämpökarttavisualisaatio suoraan videomateriaalin päälle piirrettynä. Tämän

ajateltiin tarjoavan sopiva määrä informaatiota ja mahdollistavan käyttäjäinteraktion ja uusien havaintojen tekemisen sopivien säätimien avulla. Päätettiin myös toteuttaa lämpökarttoja offline-tilassa ilman käyttäjäinteraktiota.

Lämpökarttoja käytetään usein visualisoimaan jonkinlaista kaksiulotteisessa koordinaatistossa tapahtuvaa intensiteettiarvojen vaihtelua. Lämpökartta muodostetaan kuvaamalla kaikki samaan kohtaan keskittyneet arvot päällekkäin ja laskemalla niiden superpositioperiaatteen mukainen yhteisvaikutus. Toisin sanoen: ladotaan kaikki xy-koordinaatistossa samassa paikassa sattuneet arvot päällekkäin ja selvitetään, mikä on näiden arvojen yhteisvaikutus kussakin kohdassa koordinaatistoa. Kun yhteisvaikutusarvot on selvitetty, kuvataan kukin arvoista sopivalla arvoa kuvaavalla värillä. Väri kuvaa sitä, paljonko mitattavaa asiaa on: useimmiten värit on liukuva ja sen ääripäät ovat punainen ja sininen tai harmaa ja valkoinen, mutta ne voivat käytännössä olla mitä tahansa. Tällaisella asteikolla kuvattuna punainen arvo tarkoittaa usein erittäin suurta intensiteettiä ja vihreä tai sininen erittäin pientä, olematonta. Kun näitä värejä levitetään koko xy-tasoa kuvaavan koordinaatiston alueelle, saadaan aikaan lämpökartta.

Käytännössä harvemmin ajatellaan suoraan xy-koordinaatistossa olevaa tasoa, jonka arvot muuttuvat z-akselin suhteen, vaan visualisointi nähdään useimmiten kuvana, jonka eri alueet ovat korostettu erilaisilla väreillä. Yllä olevassa kuvassa 17 lämpökartan avulla visualisoidaan Englannin energiankulutusta yleisellä sinisestä punaiseen liukuvalla asteikolla punaisen tarkoittaessa suurta tarvetta. Kuvasta nähdään punaisella värillä korostuvat alueet, kuten Lontoo, joissa energiankulutus on suuri. Itse datapisteet ovat Englannin Department of Energy and Climate Change tarjoamia ja niiden tarkkuus yltää yksittäisten asuinrakennusten tasolle – niinpä karttaa voisi lähentää ja ottaa pienemmän alueen tarkasteluun sille tarkoituksella generoidulla lämpökartalla. Kuvan lämpökartta on luotu visualisoimaan energiankulutusarvojen avulla alueita, joissa on suuri tarve energialle ja niin helpottamaan energiatuottajien suunnittelutyötä laitosten maantieteellisen sijainnin asettelussa. Kuvasta sitä katsova henkilö näkee äärimmäisen selkeästi ja helposti visualisointin avulla tarvitsemansa tiedon vaikka itse alkuperäisdatan hahmottaminen sellaisenaan olisikin paljon mutkikkaampaa.

Tässä työssä selvitettiin, millaisin keinoin ja millaisia haasteita lämpökarttojen luomiseen liittyy, kun niitä generoidaan offline-tilassa eräajona tai webiselaimessa interaktiivisesti käytön aikana. Tulokset esitellään alla.

3.2.1 Lämpökartat eräajona offline-tilassa

Lämpökarttojen generoimisella eräajona offline-tilassa tarkoitetaan tässä kontekstissa sellaista lämpökarttojen luomismekanismia, jossa

- kaikki lämpökartan luomiseen tarvittava data on valmiina
- video, josta data on kerätty, on saatavilla

- asetukset, joiden perusteella lämpökartta muodostetaan, on valittu valmiiksi
- lämpökartta luodaan ajamalla jokin skripti, jota ei keskeytetä sen aloittamisen jälkeen
- lopputuloksena on videotiedosto, jossa alkuperäisen videon päällä näkyy läpikuultavana lämpökartta

Toisin sanoen lämpökartan luomisprosessiin kuuluu, että joukko katsojia ovat katsoneet jotakin 360-videota, katselusta on kerätty dataa, lokituspalvelin on tallentanut datan ja nyt datan pohjalta luodaan video, jonka päälle on piirretty lämpökartta. Lopputuloksena syntyvä videotiedosto, joka lämpökartan sisältää, on staattinen eli sitä ei voi mitenkään enää muuttaa. Luotu videotiedosto voidaan esimerkiksi ladata web-palvelusta ja katsella millä tahansa videotiedostoja toistavalla soittimella.

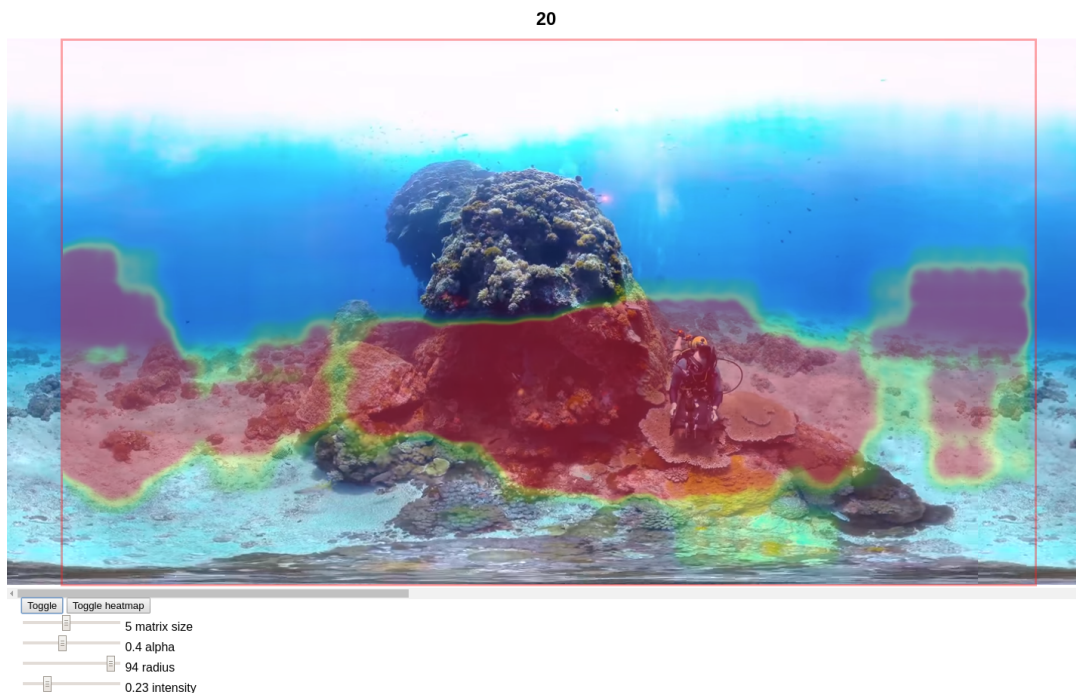
Tämän lämpökartanluomismenetelmän taustalla on ajatus siitä, että voitaisiin pystyttää jokin web-palvelu, jolle voisi syöttää tiedon standardiformaatissa olevasta katselustatistiikkadatasta ja alkuperäisvideosta, jonka jälkeen palvelu voisi luoda lämpökartan sisältävän videon. Lopullinen tuote - lämpökartan sisältävä video - voitaisiin yksinkertaisesti jael-la käytännössä mille tahansa laitteelle, sovellukseen tai osaksi jotakin web-sivua, koska tarkasteluvaatimuksena on ainoastaan mahdollisuus toistaa videoita. Tätä generointimenetelmää käyttäen lämpökartalla ei olisi interaktiivisia vaatimuksia eli se luotaisiin pohjati-etojen ja luomista varten valittujen asetusten perusteella eikä sitä voisi muuttaa lennosta, kesken katselun, vaan muutokset vaatisivat kokonaan uuden lämpökarttavideon luomisen.

Offline-tilassa eräajona toteutettavien lämpökarttavideoiden toteutuksessa käytettiin Python-ohjelmointikieltä, Pythonin Matplotlib-kirjastoa ja FFmpeg-ohjelmistoprojektin työkaluja. Python valittiin ohjelmointikieleksi sen tuttuuden ja skriptausominaisuuksiensa vuoksi ja lämpökarttojen luomista varten päätettiin käyttää Matplotlib-kirjastoa, koska se on ilmainen käyttää ja koska se on verrattain hyvin dokumentoitu. FFmpeg-projektin työkalut valittiin, koska ne ovat alan standardeja.

Implementoitu lämpökartangenerointijärjestelmä toimi seuraavasti. Käyttäjiltä kerättiin katselustatistiikkaa lokituspalvelimelle, josta se saatiin luettua ulos. Pythonilla kirjoitettu yksinkertainen ohjelma luki datan ja muokkasi sen sopivaan muotoon lämpökarttojen generointia varten. Käytännössä sopiva muoto tarkoitti jokaista yksittäistä lämpökarttaa kuvastavaa informaatiota: tarvittiin videon resoluution kokoinen matriisi, josta voitiin sanoa, mitä kaikkia pikseleitä oli katsottu. Lokituspalvelimen tarjoamien tietojen perusteella selvitetiin jokaiselle videon framelle kaikkien lokitettujen katsomisjälkien näyttämät pikselit ja muodostettiin niiden pohjalta matriisi, jossa jokaisen katselijoiden näkymät oli lomitettu ja superpositioperiaatteella laskettu yhteen päällekkäisen katselun tapauksessa. Osatiin siis sanoa suoraan, moniko katselunäkymä oli suuntautunut suoraan esimerkiksi videon vasemman yläkulman alueelle. Tällaisen katselun päällekkäisyydet kuvaavan matriisin pohjalta generoitiin lämpökartta Matplotilla. Lämpökartta talletettiin työhakemistoon png-formaatissa myöhempää käsittelyä varten. Talletuksen yhteydessä lämpökarttaan itseensä ei jätetty minkäänlaisia akseleita, merkintöjä tai lukuja näkyviin, vaan ainoastaan

lämpökartan kriittinen sisältö, ja talletetun kuvatiedoston taustaväri niiltä osin, joissa katselua ei ollut esiintynyt, jätettiin läpinäkyväksi. Näiden datasta generoitujen yksittäisiä frameja kuvaavien lämpökarttakuvien pohjalta muodostettiin lopullinen staattinen videotiedosto käyttäen FFmpeg:tä. Työkalun avulla yhdistettiin alkuperäinen 360-videotiedosto ja sen päälle läpinäkyvän taustavärin lämpökarttakuvat png-tiedostoista. Prosessin jälkeen syntyi videotiedosto, jossa alkuperäisen 360-videon päällä pyörii lämpökartta.

3.2.2 Lämpökartat ajonaikaisesti selaimen videosoittimessa



Kuva 18. Selaimessa videon päälle muodostettu lämpökartta

Lämpökarttojen generoisimiella ajonaikaisesti selaimen videosoittimessa tarkoitetaan tässä asiayhteydessä sellaista järjestelyä, jossa

- webselain toistaa 360-videota
- videon päälle piirretään lämpökarttaa
- lämpökartta piirretään verkon yli haetun käyttäjästatistiikan perusteella
- käyttäjä voi hiirellä tai jotenkin muuten katsella eri kohtia videosta
- käyttäjällä on mahdollisuus säätää jonkinlaisia asetuksia, jotka vaikuttavat piirretävän lämpökartan ulkoasuun
- lämpökartanluomisprosessointi tapahtuu selaimessa eli clientin päässä, ei taustapalvelimella

Tämän lämpökartangenerointijärjestelmän tausta-ajatuksena on luoda käyttäjälle mahdollisuus olla interaktiivisessa yhteydessä näytöllä pyörivään visualisaatioon ja jotenkin voida vaikuttaa sen toimintaan ja samalla selvittää, millaisia haasteita selainympäristössä datapisteiden pohjalta luotuihin lämpökarttavisualisaatioihin liittyy.

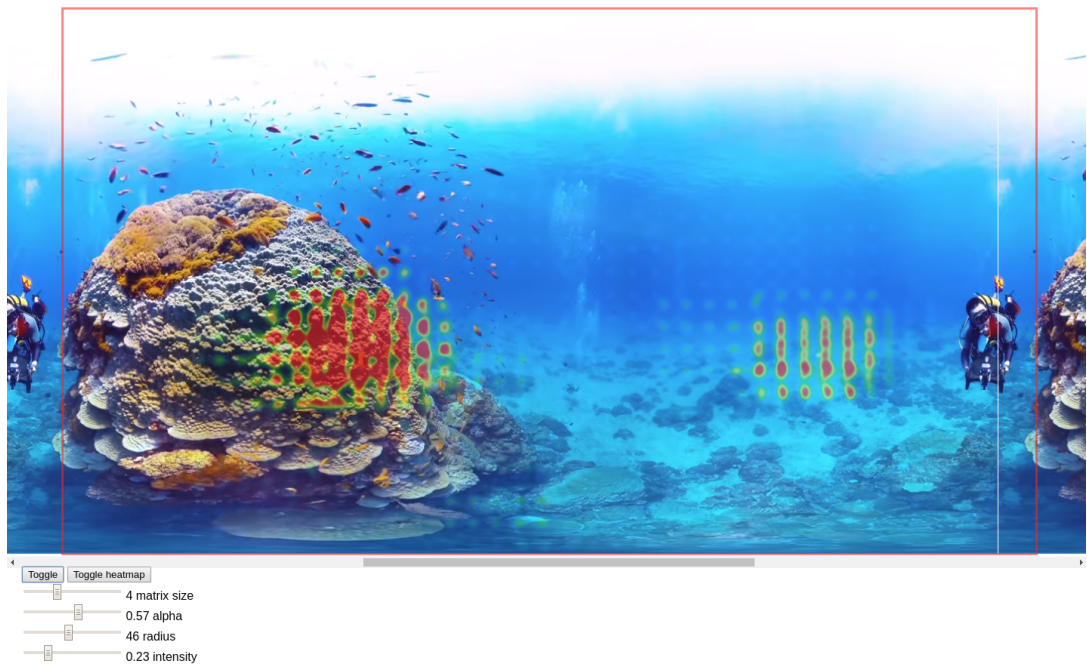
Toteutusta varten valittiin JavaScript-kieli, koska se on ainoa selaimissa toimiva skriptikieli. JavaScriptin lisäksi käytettiin selaimien tarjoamia HTML5-dokumenttimallin rajapintapalveluita. Työtä lähdettiin tekemään selvittämällä JavaScriptille luotujen avoimen lähdekoodin lämpökartangenerointiohjelmistokirjastojen toimintaa ja eroja. Päätettiin, että omaa toteutusta itse lämpökartan luomiselle ei lähdetä tekemään, sillä se ei kuulunut tutkimuskysymyksen rajaamaan aihealueeseen, vaan tarkoitus oli löytää jokin valmis ohjelmapaketti.

Vapaasti saatavilla olevista JavaScript-kirjastoista tutustuttiin Plotlyn kirjastoon, heatmap.js:ään, simpleheatiin ja webgl-heatmapiin. Näistä vaihtoehtoista heatmap.js tarjosi kattavimman määrän erilaisia rajapintapalveluja lämpökartan muokkaamiseen kaikilla mahdollisilla tavoilla, mutta webgl-heatmap osoittautui performanteimmaksi tarjoten kuitenkin riittävän määrän mahdollisuuksia yksinkertaiseen, mutta kattavaan lämpökarttakäsittelyyn. Kirjastojen perusominaisuuksiin kuuluivat yksittäisen lämpökartan (eli yhden framen tietojen perusteella luodun lämpökartan) luomisen lisäksi mm. interaktiivinen hiiren seuraaminen ja sen avulla lämpökarttakuvan värittäminen, jossa hiirellä hinkkaaminen aiheutti voimakkaamman värin. Muita toimintoja oli myös mm. lämpökartan häivyttäminen ja useiden erilaisten dataformaattien tukeminen.

Lämpökartat generoitiin teknisesti seuraavalla tavalla. Käyttäjän ladatessa lämpökarttavisualisaatiota näyttävä sivu verkon yli haettiin tuohon videoon liittyvä data. Data oli ennakoon järjestetty frameja kuvaavaan muotoon eli taulukkoon, jossa alkioina oli matriiseja muodostavia taulukoita. Videon alkaessa pyöriä webgl-heatmap -kirjastolle alettiin syöttää kunkin framen matriisien datapisteitä ja lämpökartta päivittyi selaimessa. Lämpökartan piirto sijoitettiin HTML5-videoelementissä pyörivän alkuperäisvideon päälle. Alkuperäiseen 360-videoon ei siis tehty minkäänlaisia muutoksia, vaan käytettiin samaa videomateriaalia kuin minkä datassa kuvatut katselijatkin olivat nähneet. Näin videon pyöriesä sen päälle piirrettiin ja päivitettiin lämpökarttaa ajan funktiona. Lämpökarttatoimintoa varten toteutettiin muutamia toimintoja, joiden avulla videon päälle piirtyvää näkymää saattoi muunnella ajonaikaisesti yli käyttäjäinteraktion seurauksena lennosta.

Luvun kuvia 18 ja 19 verratessa näkee, kuinka lämpökartta on piirretty ensimmäisessä laajempänä ja jälkimmäisessä suppeampana. Toistimeen toteutettiin toiminto säätää muodostuvan lämpökartan laajuutta, jolla yritettiin löytää kohtia, jotka erityisesti korostuvat ja joihin olisi syytä kiinnittää huomiota. Lämpökartan generoinnin yhteydessä toteutettiin mahdollisuus valita, kuvataanko yhden katselijan katseluaukkoa sen alkuperäisessä koossa vai pienempänä suorakaiteen muotoisena alueena. Pienemmän alueen avulla oli mahdollista löytää helpommin kohtia, jonne suurin osa oli katsonut, sillä alkuperäisaukon tapauksessa videolla korostui usein liian laaja alue, jotta siitä olisi voinut päätellä

-77



Kuva 19. Sivuttaissuunnassa skrollaantuva lämpökartta usean videon päälle piirrettynä

mitään kuvaavaa. Pienemmän alueen käytön seurauksena lämpökartassa korostui kohdat, joissa oli päällekkäistä katselua enemmän.

Toinen toteutettu ominaisuus oli videon ja samalla lämpökartan horisontaalinen skrollaaminen ja katselukulman näyttäminen. 360-video on aina tasavälisessä lieriöprojektiossaan katsojalle haastava hahmotettava, sillä videon suorakaiteen muotoinen projektio ei intuitiivisesti kuvaa sitä, että vasen ja oikea laita oikeasti yhdistyvät katselijan takaraivon osoittamassa suunnassa, vaan tietokoneen näytöltä katsottuna laidat näyttävät toisistaan täysin riippumattomilta kohdilta, joissa video vain katkeaa. Tätä varten soittimeen lisättiin tuki kolmelle rinnakkaiselle, vaakatasossa vierekkäin asetetulle videolle. Kuvaa 19 katsomalla näkee saman uimarin kuvan vasemmassa ja oikeassa laidassa sekä punaisen videon päälle piirretyn kehikon. Punainen kehikko kuvastaa oikeassa suhteessa ja koossa olevan 360-videon tasavälisen lieriöprojektion ääriviivoja. Kehikon ulkopuolelle sijoittuvat videon kohdat ovat ylimääraistä, hahmotusta parantavaa jatkevideota. Videonkatselulaatikkoon on lisätty vaakasuuntainen skrollausmahdollisuus, jonka liikuttelu pitää punaisen kehikon paikallaan, mutta siirtää sen sisällä pyöriviä videoita skrollauksen verran joko vasemmalle tai oikealle. Tämän järjestelyn seurauksena visualisaatiota katsova käyttäjä voi videon edetessä keskittyä kiintoisaan kohtaan videolla eikä vain katsoa sitä sen alkuperäisen nollakohdan suhteen (niin, että nollakohta on keskellä kuvaruutua). Toisin sanoen silloin, kun videolla jokin kiinnostava asia, kuten kuvan uimari, liikkuu kauemmas nollakohdasta kohti reunoja ja lopulta reunaan asti, voidaan videota skrollata sivuttaissuunnassa niin, että se jatkuu saumattomasti uudella sen viereen asetetulla videolla ja uimari pysyy koko ajan punaisen kehikon keskellä. Videonkatselulaatikon sisälle asetet-

tiin kolme 360-videota vierekkäin, niin että alussa punainen kehikko oli keskitettynä keskimmäisen videon päälle ja sen vasemmassa laidassa päättyi vasemmalla puolella olevan videon oikea laita ja oikealla puolella alkoi oikealla puolella olevan videon vasen laita. Vasen laita ja oikea laita tarkoittavat siis videon takaraivon suunnassa olevaa yhtymäkoh-
taa. Skrollauksen määrä näytettiin näytöllä astelukuna.

4. ANALYYSI

4.1 Statistiikan talletus ja hyödyntäminen

Kun erilaiset videoistimet näyttävät käyttäjille ympäröivää videota, on todennäköisesti käytännöllisintä tallettaa mahdollisimman paljon yksityiskohtaista statistiikkaa tähän liittyen. Mitä enemmän informaatiota, sitä todennäköisemmin sen avulla voidaan tehdä jotakin hyödyllistä, vaikka kaikkia käyttökohteita ei vielä tiedettäisikään. Tästä lauselmasta kuitenkin päästään yleiseen yksityisyydensuojakysymykseen siitä, onko ylipäättään suotavaa tallettaa mitään sellaista informaatiota käyttäjistä, jolle ei osata yksiselitteisesti sanoa käyttökohdetta. Järkivastaus on, että ei, koska emme myöskään osaa ennakoida, tulee joku käyttämään talletettua informaatiota väärin. Olisi myös hyvä, jos käyttäjä aina tietäisi, millaista informaatiota hänestä talletetaan. Näin ollen kaiken mahdollisen informaation tallettaminen ei todennäköisesti ole viisasta, vaan on syytä pyrkiä tallettamaan minimimäärä, mutta kuitenkin riittävästi visualisaatioiden ja analyysien kannalta.

Riittävä määrä talletettua dataa tarkoittaa lämpökarttavisualisaatioiden tapauksessa koko katselusession aikajanan kuvaavaa jaw, pitch, roll, aikaleima -nelikkoa ja jos laitteisto sitä tukee, silmien keskittymispisteitä. Näiden juoksevien tietojen lisäksi katselusessista on hyvä tallettaa niin kutsuttua metatietoa käyttäjästä: ikä, sukupuoli, sijainti ja niin edelleen. Todennäköisesti nimenomaan visualisoinnin kannalta tärkeät tiedot katselusuunnista joudutaan implementoimaan käsin kuhunkin järjestelmään erikseen, mutta on mahdollista, että järjestelmät saavat mainitut metatiedot esimerkiksi mainostus- tai muun käyttäjän-seurantajärjestelmän kautta.

Kun välttämätön datanelikko tiedetään, voidaan muodostaa visualisaatio. Kun nelikon lisäksi tiedetään metatietoja, voidaan visualisaatio muodostaa eri katsojaryhmille ja visualisaatiotyökaluun voidaan lisätä interaktiivisia toimintoja, joilla voidaan lennosta dynaamisesti korostaa eri ryhmien toimintaa, verrata niitä toisiinsa ja tehdä tarkempia havaintoja kuin kaiken sisältävälle kokonaisdatalle.

Talletettavan datan määrää valittaessa on syytä huomioida eri videoistinalustojen rajoitukset ja lokituspalvelimelle mahdollisesti aiheutuva kuormitus. Kuten luvussa 3.1.2 kuvattiin, esimerkiksi webselainpohjaisten toistimien datankeräys pahimmassa tapauksessa vaikuttaa katselukokemukseen, minkä vuoksi dataa on paras kerätä maksimissaan niin paljon, että käyttäjäkokemus ei vaarannu. Samalla kuitenkin huomattiin, että maksimikeräystiheyskin on vielä verrattain korkea ja visualisaation ja käyttäjäanalyysin tekemisen kannalta jopa 250 millisekunnin välein talletettu datanelikko voi olla yliampuva puhumattakaan natiivisovellusten jokaisen videoframen raportoimista datoista. Jokin hyvä

keskitie on syytä löytää ja se todennäköisesti sijoittuu jonnekin 50 ja 1000 millisekunnin välimaastoon. Näitä lukuja miettiessä on kuitenkin huomioitava vielä kaksi asiaa.

Erittäin todennäköisesti kaikkien käyttäjien katselusessioista ei talleteta tismalleen samoilta aikaleimoilta samanlaisia nelikkoja, joten ennen visualisaation tai katselusuunta-analyysin luomista статистиikasta on laskettava jonkinlaisia aggregaatteja eli tunnuslukuja tietyille aikajaksolle. Jos dataa on talletettu kovin harvoin, esimerkiksi yhden sekunnin välein, voidaan koonnitkin luoda parhaillaan tällä aikaresoluutiolla. Videomateriaalissa taas yhden sekunnin aikana voi tapahtua verrattain paljonkin nopeassa kohtauksessa, joten tarkempi erottelu tuntuu perustellulta. Käytännössä siis on todennäköisesti välttämätöntä muodostaa visualisointi kuvaamaan esim. 50, 250 tai 500 millisekunnin ajanjaksoa eikä suinkaan luoda jokaista ympäröivän median framea vastaavaa visualisointikuvaa.

Toinen huomioitava asia on verkon kuormitus ja lokituspalvelimen tietokantajärjestelmä. Videontoistimen eli datan keräävän ohjelmiston näkökulmasta on syytä pohtia, tarvitseeko kerättyä dataa lähettää katselun aikana aina uuden data-alkion tullessa saataville vai voisiko datan lähettää kerralla jollakin myöhemmällä ajanhetkellä, kun verkkoyhteys on vakaa ja datan lähetys ei mitenkään pääse vaikuttamaan käyttäjäkokemukseen. On myös syytä tehdä laskelmia sen suhteen, miten paljon dataa voidaan tallettaa jollakin järjellisellä palivenkapasiteetilla ja tietokantakoolla ja kuinka pitkän ajan kerätyn datan on tarkoitus olla saatavilla. Levytila on nykypäivänä halpaa, mutta kustannukset saattavat kasvaa yllättäen, jos dataa kerätään todella suurella aikatarkkuudella.

4.2 Lämpökarttageneroinnin menetelmien huomioitavat yksityiskohdat

Lämpökarttojen generoimisessa on välttämätöntä huomioida generointiympäristön rajoitteet. Tuloksissa esitetyjen kahden vaihtoehdon, eräajojen ja dynaamisen selaingeneroinnin, rajoitteet ovat laadultaan kovin erilaiset.

Eräajojen tapauksessa on tärkeä miettiä laitteistotehokulutusta ja -tarvetta suhteessa saatuun hyötyyn. Jos lämpökarttavisualisaatiot muodostetaan jokaisella framelle, siihen menee kauemmin. Jos generointi on osa jotakin järjestelmää, jossa käyttäjä esimerkiksi verkkäyttöliittymän kautta tilaa visualioisinnin ja sitten odottaa sen valmistumista ennen pääsemistä katselemaan tuloksia, on hyvä pohtia, miten suurella datamäärällä ja aikatarkkuudella visualisoinnit on tarpeellista generoida. Eräajopalvelimen arkkitehtuuria miettiessä on syytä myös paneutua tarkasti valittuun rautaan. Tietyillä näytönohjaimilla on suora rautatuki FFmpeg-työkalun kiihdytykselle ja sen vuoksi sopivilla spekseillä varustettu palvelin voi suoriutua eräajoista jopa useita kertaluokkia nopeammin kuin hätäisesti nopeaan prosessoriin turvaava ratkaisu.

Webselaimessa generoitavat dynaamiset lämpökarttavisualisaatiot ovat puolestaan täysin sen tietokoneen, jossa websovellus on avattu, armoilla. Websovellus tulisi suunnitella ainakin niin, että se osaa itse spekuloida omaa suoritustehoaan suhteessa ajoympäristöönsä

ja mahdollisesti kertoa käyttäjälle jollakin ilmoituksella, jos käyttäjäkokemus meinaa laskea hitaan laitteiston vuoksi. Tavallisella 2500 euron kannettavalla työtietokoneella vuodelta 2017 suurin osa visualisointipalveluista verkossa saivat tuulettimet pauhaamaan täydellä voimalla.

Websovellusarkkitehtuuriin on onneksi mahdollista tehdä joitakin optimointeja. Visualisoinnin yhteydessä on toteutetussa järjestelmässä sekä itse visualisointi että alkuperäisvideo ja niitä toistetaan päällekkäin. Visualisoinnin generoi JavaScript-sovelluskoodi ja videota pyörittää selaimen natiivit HTML5-rajapinnat. HTML5-rajapinnoilta voidaan suoraan kysellä tietoja videon etenemisestä ja näin pitää huoli, että visualisointi vastaa näytöllä pyörivää videota. Visualisointia generoitaessa puolestaan voidaan pitää kirjaa jokaisen visualisointikuvan generoimiseen kuluvasta ajasta. Nämä tiedot yhdistettäessä voidaan tarpeen vaatiessa hypätä joiden data-alkioiden yli ja jättää ne käsittelemättä, jos visualisointi meinaa jäädä jälkeen videon etenemisestä. Toinen vaihtoehto merkittävästi hitaamman raudan tapauksessa on generoida lämpökarttoja harvemmallalla päivitysnopeudella eli esimerkiksi yhden sekunnin välein. Näin websovelluksella riittää puhtia pyörittää alkupe-
räisvideota, luoda lämpökarttoja ja päivittää käyttöliittymää sekunnin välein. Koska video taustalla pyörii oikealla vauhdillaan, kokemus ei välttämättä tunnu edes kovin pätkivältä sekunninkaan päivitystiheydellä, mutta luonnollisesti mitä useammin lämpökartta vaihdetaan uuteen, sitä sulavampi kokemus on.

Erityisesti selainpohjaisessa toteutuksessa on syytä huomioida lämpökarttageneroinnissa käytettävä datamäärä ja sille tehtävän esiprosessoinnin sijaintipaikka. On ilmeistä, että lokituspalvelimelta ei kannata ladata selaimeen satojen megatavujen edestä suuntamatriiseja, vaan lokituspalvelimen rajapintojen on syytä tarjota suoraan jotakin aggregoitua dataa. Tämä on hyödyllistä ei pelkästään verkon kuormittamisen suhteen vaan myös itse prosessoinnin: lämpökartan generoinnissa todennäköisesti CPU-intensiivisin vaihe on tietyn aikaikkunan kaikkien käyttäjäsessioiden katselusuuntien yhdistäminen eli päällekkäin latominen ja superpositioperiaatteen intensiteettiarvojen laskeminen. Mitä enemmän tästä työstä saadaan tehtyä lokituspalvelimen CPU:lla, sitä parempi käyttäjäkokemus websovelluksen pyörittäjälle tulee. Tietokantajärjestelmään talletetusta datamäärästä riippuen selaimeen on syytä viedä mahdollisimman pieni määrä ja pitkälle jalostettu datavirta, joka kuvaa vain jokaisen aikaikkunan lämpökarttamatriisin, jonka perusteella itse lämpökartta selaimessa piirretään. Tällaisen järjestelmän kompleksisuutta luonnollisesti kasvattaa se, että yksi websovelluksen keskeisistä ideoista on tarjota käyttäjälle jonkinlaisia vipuja, joita kääntämällä visualisaatioita voidaan muuttaa lennosta. Selaimeen ladattavan datan mukana on siis kuljettava jonkinlaista metatietoa ja selaimen on voitava nopealla tahdilla kysellä lisää, kenties eri tavalla laskettua dataa palvelimelta.

Yksi websovellukseen toteutettu optimointi liittyi yksittäisten käyttäjien katselusuuntamatriisien kuvaamiseen. Videotoistimien keräämien datanelikkojen avulla voidaan tarkasti laskea yksi yhteen juuri se aluea tasavälisestä lieriöprojektioista, jonka kukakin käyttäjä on kullakin ajanhetkellä oikeasti nähnyt. Tästä voidaan päätellä jokainen näytetty pikseli ja kaikki nämä pikselit päällekkäin latomalla voidaan selvittää koko lämpökartan ku-

vaava matriisi. Kaiken tämän tekemiseen menee kuitenkin verrattain paljon CPU-tehoa, aikaa ja tallennustilaa, joten jokin vähemmän kuormittava keskitie on syytä löytää. Sellainen voi olla esimerkiksi keskipisteen käyttö. Vaikka silmientarkentumisinformaatiota ei ole saatavilla, voidaan verrattain suurella todennäköisyydellä olettaa, että ympäröivää mediaa kokeva käyttäjä on keskittynyt johonkin kuvaruudun keskivaiheelle ja siirtää katseisuuntaa toisalle kiinnostuskohteen siirtyessä. Jos voidaan luottaa tähän oletukseen, voidaan jokaisesta katselusta käyttä visualisoinnissa vain keskipisteen ilmoittavaa koordinaattia. Pelkkä keskipiste ei yksinään kuitenkaan tuota kunnollista lämpökarttaa, joten sitä kannattaa venyttää ja arvioida sen ympärille kuvaruudun kuvasuhteessa jonkin verran. Toinen vaihtoehto on kuvata jokaisen käyttäjän katselukeskipiste todella isona pisteenä, jos käytetyt lämpökarttasovelluskirjastot tällaista tukevat.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Virtuaalitodellisuuden ja sen rinnalla 360-videoiden eli ympäröivän median yleistymisen tulee vain jatkumaan tulevaisuudessa, kun useammat yritykset panostavat tuotekehitykseen ja kilpailevat alan parhaimpien keksintöjen ja palveluiden kehittämistä. Kehityksen edistyessä myös kuluttajien kiinnostus ja kokeilunhalu kasvaa. Rajapintana osapuolten välillä tulee todennäköisesti olemaan isojen sosiaalisten median palveluiden, kuten Facebookin ja YouTuben, ympäröivän median esilletuominen perinteisten viihdemuotojen rinnalle. Lopullista läpimurtoa on vaikea ennakoida vielä, mutta ennen sitä todennäköisesti laitteiden hintojen on painuttava alemmaksi ja ympäröivän median maailmaan on tultava useampia sellaisia selkeitä niin kutsuttuja killer-käyttötarkoituksia ja -kokemuksia, joiden perässä kuluttajat haluavat jotakin uutta ja ovat valmiita maksamaan rahaa ja tutustumaan uusiin mediamuotoihin. Tulevaisuuden kasvulle ja suosiolle on rakennettu vankka pohja ja suunta ainakin vaikuttaa olevan vain ylöspäin.

Laajan käytön seurauksena kaikenlaisen käyttäjäanalyysin ja статистиikan tutkimisen tarve tulee vain kasvamaan. Osittain mainostajien intressien eli rahan vuoksi ja osittain palveluiden, tuoteperheiden ja muiden kokonaisuuksien parantamisen vuoksi. Tutkimus ja uusien ratkaisujen suunnittelu, kokeilua ja evaluointi datan hyödyntämisessä on ilmeisen tärkeää, sillä kaikki perinteisen viihteen kanssa käytetyt työkalut eivät sovellu sellaisinaan ympäröivän median maailmaan.

Lämpökarttavisualisaatiot on todettu useissa tutkimuspapereissa hyödyllisiksi kuvaamaan eri käyttäjien katselutottumuksia ja sellaisiksi ne osoittautuivat myös tämän opinnäytetyön tutkimuksen puitteissa. Lämpökarttojen luomista ja siihen mahdollisesti liittyviä rajoitteita ja huomioitavia seikkoja tutkittiin offline-muotoisen eräajogeneroinnin näkökulmasta ja reaaliaikaisen, interaktiivisesti käyttäjän toimesta muunneltavan ja dynaamisesti generoitavan webselaingeneroinnin kannalta. Molemmista ratkaisuksista löydettiin sekä hyviä että huonoja puolia. Molemmat ratkaisut myös todettiin täysin käyttökelpoisiksi omat rajoituksensa huomioiden. Mielekkäämmäksi alustaksi lämpökarttavisualisaatioiden luomiseen ja tutkimiseen havaittiin webselaimessa pyörivä sovellus, sillä sen ja käyttäjän interaktio tuntuu saumattomalta ja antaa mahdollisuuden tutkivaan tarkasteluun erilaisen käyttöliittymään integroitavien visualisaatioon vaikuttavien toimintojen ansiosta. Erilaisiin webpalveluihin integroitavina kuitenkin molemmat vaihtoehdot lämpökarttangenereoinnissa ovat täysin varteenotettavia ja hyödyllisiä.

LÄHTEET

Brooks, F. P. (1999). What's Real About Virtual Reality?

Constine, J. (2015). Facebook Unleashes VR-Style 360 Videos For Ads And iOS.

Cornelius Köpp, Jans Jörg von Mattenheim, M. H. B. (2014). Decision Analytics with Heatmap Visualization for Multi-step Ensemble Data.

Daniel A. Keim, Florian Mansmann, J. T. (2009). Visual analytics: how much visualization and how much analytics?

Devon Dolan, M. P. (2016). RedefiningThe Axiom Of Story: The VR And 360 Video Complex.

Dupin, L. (2017). VR is Ready for Consumers, are You Ready for It?

Habig, J. (2016). Is 360 Video Worth It?

Leif P. Berg, J. M. V. (2015). Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey.

Luoto, A. (2017). Towards Framework for Choosing 360-degree Video SDK.

Matt Yu, Haricharan Laksham, B. G. (2015). A Framework to Evaluate Omnidirectional Video Coding Schemes.

Michel, A. (2012). Heat Map of England Visualizes Building Energy Use.

S. Moezzi, A. Katkere, D. Y. K. R. J. (1996). Immersive Video.

Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Defining Telepresence.

T. Blascheck, K. Kurzhals, M. R. M. B. D. W. & Ertl, T. (2014). State-of-the-Art of Visualization for Eye Tracking Data.

Thomas Lowe, Michael Stengel, E. C. F. S. G. & Magnor, M. (2015). Visualization and Analysis of Head Movement and Gaze Data for Immersive Video in Head-mounted Displays.

Xavier Corbillon, Francesca De Simone, G. S. (2017). 360-Degree Video Head Movement Dataset.